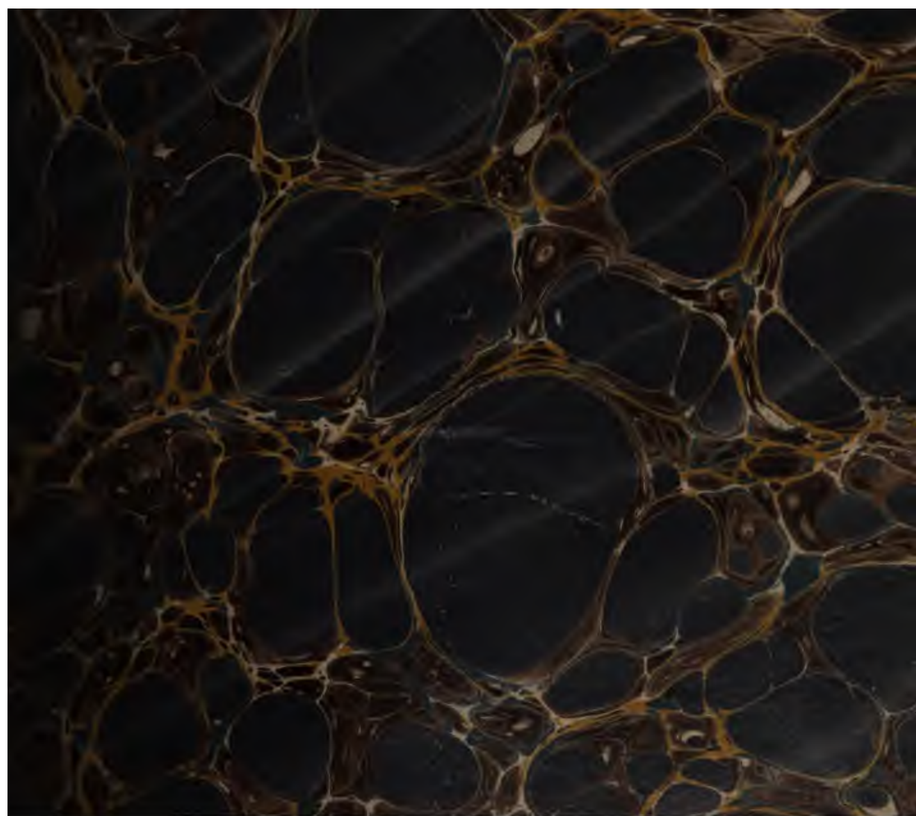



PRESS A.10.
SHELF D.
No. 17




600044722P

# Repertorium

der

# Experimentalphysik,

enthaltend

eine vollständige Zusammenstellung der neuern Fortschritte dieser Wissenschaft.

---

Als

## Supplement

zu

neuern Lehr- und Wörterbüchern der Physik

von

Gustav Theodor Fechner,

Doctor der Philosophie und außerordentlichem Professor zu Leipzig.

---

Zweiter Band.

---

Mit sieben Kupfertafeln.

---

Leipzig, 1832.

Verlag von Leopold Voß.

# Vorwort.

---

Der Umfang der ersten Lieferung dieses Werkes war zwar anfangs auf zwei Bände berechnet, indeß ist der Stoff des Mitzutheilenden während der Arbeit selbst so sehr angewachsen, daß ich, um nicht das Volumen des zweiten Bandes außer Verhältniß zu dem des ersten zu setzen, es für zweckmäßiger gehalten habe, diesen zweiten Band mit der Wärmelehre zu schließen und die Gesammtheit der, nun noch rückständigen, meteorologischen und physikalisch-tellurischen Erscheinungen, so wie eine reichhaltige Literatur und das Register für einen dritten Band zu versparen. Künftige Lieferungen dieses Werkes werden wahrscheinlich ein kleineres Volumen erhalten, da in dieser ersten Lieferung ausnahmsweise ein Zeitraum von mehr als drei Jahren inbegriffen ist, während die künftigen Lieferungen sich in Zwischenzeiten von je zwei Jahren folgen sollen.

Man wird in diesem Bande S. 382 ff. u. a. eine Mittheilung von, größtentheils noch nicht gegebenen, Interferenzformeln für das Licht finden, die bei dem wachsenden Interesse, welches die Lehre von der circulären und elliptischen Polarisation erlangt hat, nicht überflüssig sein möchten.

# Inhaltsverzeichniß zum zweiten Bande.

## Fünfter Abschnitt.

### Elektrochemie.

---

# Sechster Abschnitt.

---

## Lehre vom Magnetismus.



---

## Siebenter Abschnitt.

### Lehre vom Elektromagnetismus.



## Achter Abschnitt.

### Lehre vom Lichte.

I. Über das Licht im Allgemeinen.



II. Erregung des Lichtes, Phosphorescenz.



III. Eigenthümliche Wirkungen des Lichtes.



IV. Photometrie.



V. Zurückwerfung des Lichtes.



VI. Einfache Brechung des Lichtes.





# Repertorium der Experimentalphysik,

enthaltend

eine vollständige Zusammenstellung der neuern Fortschritte dieser Wissenschaft.

Als

## Supplement

zu

neuern Lehr- und Wörterbüchern der Physik

von

Gustav Theodor Fechner,
Doctor der Philosophie und außerordentlichem Professor zu Leipzig.

Zweiter Band.

Mit sieben Kupfertafeln.

Leipzig, 1832.
Verlag von Leopold Voß.

# Vorwort.

---

Der Umfang der ersten Lieferung dieses Werkes war zwar anfangs auf zwei Bände berechnet, indeß ist der Stoff des Mitzutheilenden während der Arbeit selbst so sehr angewachsen, daß ich, um nicht das Volumen des zweiten Bandes außer Verhältniß zu dem des ersten zu setzen, es für zweckmäßiger gehalten habe, diesen zweiten Band mit der Wärmelehre zu schließen und die Gesammtheit der, nun noch rückständigen, meteorologischen und physikalisch-tellurischen Erscheinungen, so wie eine reichhaltige Literatur und das Register für einen dritten Band zu versparen. Künftige Lieferungen dieses Werkes werden wahrscheinlich ein kleineres Volumen erhalten, da in dieser ersten Lieferung ausnahmsweise ein Zeitraum von mehr als drei Jahren inbegriffen ist, während die künftigen Lieferungen sich in Zwischenzeiten von je zwei Jahren folgen sollen.

Man wird in diesem Bande S. 382 ff. u. a. eine Mittheilung von, größtentheils noch nicht gegebenen, Interferenzformeln für das Licht finden, die bei dem wachsenden Interesse, welches die Lehre von der circulären und elliptischen Polarisation erlangt hat, nicht überflüssig sein möchten.

# Inhaltsverzeichniß zum zweiten Bande.

## Fünfter Abschnitt.

### Elektrochemie.

VI. Elektrochemische Bewegungen.



---

## Sechster Abschnitt.

---

### Lehre vom Magnetismus.



---

## Siebenter Abschnitt.

### Lehre vom Elektromagnetismus.



## Achter Abschnitt.

### Lehre vom Lichte.

Man wird in diesem Bande S. 382 ff. u. a. eine Mittheilung von, größtentheils noch nicht gegebenen, Interferenzformeln für das Licht finden, die bei dem wachsenden Interesse, welches die Lehre von der circulären und elliptischen Polarisation erlangt hat, nicht überflüssig sein möchten.

# Inhaltsverzeichniß zum zweiten Bande.

## Fünfter Abschnitt.

### Elektrochemie.



i

## VI. Elektrochemische Bewegungen.



---

# Sechster Abschnitt.

## Lehre vom Magnetismus.



---

# Siebenter Abschnitt.

## Lehre vom Elektromagnetismus.



# Achter Abschnitt.

## Lehre vom Lichte.

---

## Neunter Abschnitt.

---

### Lehre von der Wärme.

Da mir aus diesen Untersuchungen zwar einige interessante chemische Resultate, aber kein neues Resultat von physikalischer Wichtigkeit hervorzugehen scheint, so verweise ich die sich dafür Interessirenden im Allgemeinen auf die Originalabhandlung. Über die Wirkung auf Wismuth- und Arsenikauflösung werde ich im Verfolg Einiges mittheilen.

Einige Versuche von Matteucci über die Zersetzung von aufgelösten Metallsalzen in Ann. de Ch. et de Ph. XLV. 324 scheinen mir keine Erwähnung zu verdienen.

Becquerel *) hat gezeigt, daß eine Säure beim Übergange von einem Pol einer Kette zum andern die Zersetzung eines auf ihrem Wege befindlichen Salzes bewirken kann, wenn die Intensität der Kette so schwach ist, daß ihre zersetzende Wirkung die Verwandtschaft der Säure zur Basis des Salzes nicht zu überwiegen vermag. Der Versuch ist folgender:

Eine oben und unten offene Glasröhre von mehreren Centimetern Durchmesser wird unten mit ganz feinem Thon verschlossen, der mit einer Auflösung von salpetersaurem Kali geschwängert ist, und oben mit Alkohol gefüllt. Man setzt diese Röhre in eine andere weitere Röhre, welche mit einer Auflösung von schwefelsaurem Kupfer gefüllt ist, und verbindet dann beide Flüssigkeiten durch einen Bogen, der aus Blei und Kupfer zusammengelöthet ist, so daß das Kupfer in die schwefelsaure Kupferlösung, das Blei in den Alkohol taucht. Das Kupfer reducirt sich an dem Kupferende; der Sauerstoff und die Schwefelsäure gehen nach dem Bleiende über; aber anstatt daß hier schwefelsaures Bleioxyd entstände, bildet sich in wenig Tagen eine große Quantität oktaedischer Krystalle von salpetersaurem Bleioxyd, ein offenbarer Beweis, daß die Schwefelsäure beim Hindurchgange durch den mit salpetersaurem Kali geschwängerten Thon, das salpetersaure Salz zersetzt und die Salpetersäure frei macht, die nun zum positiven Pole gelangt.

Niemann brachte Kohlensäure, die nach Faraday's Methode durch Entwickelung in einer zugeschmolzenen Glasröhre zum Liquidum condensirt worden war, mittelst starker, in die Röhre eingeschmolzener, Platindrähte in den Kreis einer Säule von 20 vierzölligen Plattenpaaren, welche Wasser mit ziemlicher Leichtigkeit zu zersetzen vermochte. Es erfolgte aber keine zersetzende Wirkung. Auch wenn sich nur ein Tropfen Flüssigkeit zwischen den Drähten befand, ward weder Gas noch sonst eine Substanz entwickelt. (Brandes Arch. XXXVI. 193.)

Man hat bisher angenommen, daß der Körper, welcher sich als brauner Staub bildet, wenn Tellur im Wasser als negativer Pol der galvanischen Säule wirkt, Wasserstofftellur sei, zwar ohne eine Analyse desselben vorgenommen zu haben, aber unstreitig durch das veränderte Ansehen und den Umstand veranlaßt, daß sich während der Bildung desselben kein Wasserstoffgas entbindet.

*) Mém. de l'Acad. 1831. X. 275.

Nach neueren Versuchen von Magnus*) indessen scheint es vielmehr, daß dieser Körper nichts anderes als fein zertheiltes metallisches Tellur ohne Wasserstoff sei, und daß, wenn während der Bildung desselben kein Wasserstoff sich entbindet, dies daher rührt, daß sich anfangs Tellurwasserstoffgas bildet, welches aber durch den Sauerstoff, der sich vom positiven Pole aus bildet, wieder zersetzt wird, denn in der That fand Magnus, daß sich während der Bildung des Körpers weit weniger oder selbst gar kein Sauerstoffgas vom positiven Pole aus entbindet, als wenn kein Tellur am negativen Pole angebracht wird, und daß die Erscheinungen dieselben blieben, auch wenn ausgekochtes und mit Öl bedecktes Wasser angewandt ward, so daß der Sauerstoff der Luft die Zersetzung nicht bewirken konnte. Davon, daß das sogenannte Wasserstofftellur keinen Wasserstoff enthält, überzeugte sich Magnus durch directe Versuche. Es möchte hierdurch auch die Existenz so mancher anderen vorgeblichen Wasserstoffmetalle (Biot III. 368), die man ohne hinlängliche Prüfung angenommen hat, zweifelhaft werden.

So vermochte auch Magnus (Pogg. XVII. 526) sowohl als Soubeiran (Pogg. XIX. 204) keinen oder nur Spuren von Wasserstoffarsenik zu erlangen, als sie dasselbe durch Anbringen von metallischem Arsenik am negativen Polardrahte einer Wasser zersetzenden Säule darzustellen versuchten.

Simon**) beobachtete, als er eine Auflösung von 10 Gran basisch salpetersaurem Wismuthoxyd in hinreichender Salpetersäure und mit zwei Drachmen destillirten Wassers verdünnt in Döbereiner's sogenannter stöchiometrisch elektrischer Kette (wobei das äußere Glas Salmiaklösung enthält) der Zersetzung unterwarf, daß sich die in die Wismuthauflösung tauchende Kupferstange mit einem schwarzen Überzuge von zottigem flockigen Ansehen bekleidete. Diese schwarze Substanz enthielt metallisches Wismuth mechanisch eingemengt, und als sie hievon durch Schlemmen möglichst befreit worden war, blieb ein intensiv schwarzes, geschmackloses, in Wasser unlösliches, in schwacher Salpetersäure ohne Gasentwickelung, mit Rücklassung einer geringen Menge grauen Pulvers***), lösliches Pulver zurück. Der Verfasser hält dies Pulver nach seiner Farbe und seiner Eigenschaft, sich in verdünnter Salpetersäure ohne Gasentwickelung aufzulösen, für ein bisher noch unbekanntes Wismuthoxydul. Wahrscheinlich ist es mit der schon früher (Biot III. 370) beobachteten schwarzen Substanz von gleicher Beschaffenheit, welche man erhält, wenn man ein Stück Wismuth allein oder mit Quecksilber amalgamirt am negativen Pole einer geschlossenen Säule anbringt, welches man aber bisher für Wasserstoffwismuth gehalten hat.

*) Pogg. XVII. S. 521.

**) Trommsd. N. J. XXII. St. 1. S. 20.

***) Dieses graue Pulver war in concentrirter Salpetersäure unter Gasentwickelung löslich.

Die merkwürdigen Erscheinungen, welche das Ammoniak, wenn es in Berührung mit Quecksilber galvanisirt wird, darbietet, konnten die Vermuthung rege machen, daß sich ähnliche auch bei Anwendung der pflanzlichen Alkaloide statt Ammoniaks zeigen würden. Diese Vermuthung jedoch hat sich bei Versuchen, welche Brande*) über diesen Gegenstand angestellt hat, nicht bestätigt; es zeigten sich vielmehr, als befeuchtetes Morphin, Cinchonin, Chinin oder Lösungen ihrer Salze in Berührung mit Quecksilber galvanisirt wurden, durchaus keine bemerkenswerthen Erscheinungen; bloß dann, wenn das angewandte Alkaloid etwas Kalk enthielt, nahm das Quecksilber ein wenig butterartige Consistenz (vom Calcium) an. Die Alkaloidsalzlösungen werden auf die gewöhnliche Weise zerlegt, indem sich das Alkaloid am negativen Pole ausscheidet.

Kastner**) hat bei folgenden Versuchen die Bildung eines Ammoniumamalgams in dendritischer Form auf galvanischem Wege, indem er Quecksilber nach Art eines Zwischendrahtes auf Ammoniakflüssigkeit wirken ließ, beobachtet. Eine V förmig gebogene Glasröhre wurde unten einige Linien hoch mit laufendem Quecksilber, darüber in beiden Schenkeln mit zerriebenem kohlensauren Ammoniak gefüllt, dann letzteres Salz mit Ammoniakflüssigkeit befeuchtet und hierauf die polirten Eisendrähte der Pole einer frischgebauten galvanischen Säule (aus 75 Kupferzink-Plattenpaaren, jede zu 75 Quadratzoll Fläche und mit heißer Salmiaklösung geschichtet) in das feuchte Salz ungefähr $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll tief getaucht. Dem positiven Polardraht gegenüber erfolgte rasch Bildung des Ammoniumamalgams, in Form lebhaft bläulichweiß glänzender Dendriten, die bis gegen $1\frac{1}{2}$ Zoll hoch in den Schenkel hinaufwuchsen***). (Als zu einer andern Zeit der Versuch mit derselben Säule so wiederholt wurde, daß das Quecksilber die unmittelbare Verlängerung des negativen Drahtes bildete, entstand das Ammoniumamalgam nur in der gewöhnlichen Form einer mattglänzenden, aufgequollenen Schwellung.) Kastner hob mittelst eines schmalen Löffels etwas von dem dendritischen Ammoniumamalgam heraus, trocknete es so viel als thunlich mit Fließpapier, legte es dann in einen eisernen, mit dem Kupferpole in leitender Verbindung stehenden, Löffel, und schloß nun die Kette, indem er das freie Ende des Zinkpoldrahtes der Oberfläche des Amalgams näherte. Augenblicklich erfolgte Verbrennung unter lebhaftem purpurröthlichem Lichte, das späterhin, nachdem schon wieder alles im Löffel befindliche Amalgam zu regulinischem Quecksilber zurückgeführt war, in grünlich bläuliches Licht überging und nun erst auf seinem Spiegel die bekannten Oxydfiguren darbot.

*) Journ. of the royal Inst. Nr. II. Febr. [illegible]. [illegible]; oder Schweigg. J. LXII. [illegible]; oder Buchner's Rep. XXXVII. [illegible].
**) Kastn. Arch. [illegible] 1. [illegible]
***) Dem negativen Pole gegenüber bildete sich an dem andern Ende des Quecksilbers eine bräunlich-schwärzliche Masse, die hie und da zur Dendritenform neigte und mitunter von grünmetallisch glänzenden Theilchen durchzogen erschien.

Runge *) hat beobachtet, daß, wenn man eine blanke Zinkplatte mit Ätzkalilauge (aus 1 Kali und 4 Wasser bereitet) übergießt und auf dieselbe verschiedene Metalle legt, z. B. Platin, Gold, Silber, Kupfer, Blei, Zinn und Eisen, ohne daß sie einander berühren, so wird man finden, daß von allen diesen Metallen nur zwei, nämlich Platin und Eisen, Gas entwickeln, und zwar letztes so stark, daß es die Gasentwickelung durch das Platin wenigstens um das Dreifache übertrifft. Das Zink wird zugleich sehr rasch aufgelöst, wenn es in Berührung mit Eisen ist. In der That ergaben sich bei vergleichenden Versuchen, wo eine Zinkplatte 1) für sich, 2) mit Platin, 3) mit Eisen, jedesmal 20 Stunden lang unter Kalilauge in Berührung gelassen wurde, folgende Gewichtsverluste:

1) Verlust der einzelnen Zinkplatte . . . 0,5 Gran
2) Verlust der Zinkplatte mit Platin . . . 5,6
3) Verlust der Zinkplatte mit Eisen . . . 73,8

Das Eisen so wenig als das Platin hatten dabei einen Gewichtsverlust erfahren.

Man kann von dieser Erfahrung Nutzen zur Bereitung des Wasserstoffgases ziehen. Sie beruht, wie es scheint, auf einer erhöheten Negativität, welche das Eisen erlangt.

Lüdersdorf **) hat sehr umständliche Versuche über die Wirkung des Galvanismus auf verschiedentlich verdünnten Alkohol mit oder ohne Zusatz von Säuren angestellt, aus denen ich indeß kein besonders interessantes Resultat abzuleiten weiß, da die Producte nicht gehörig untersucht wurden. Bei mehreren Versuchen entwickelte sich nach längerm Galvanisiren ein besonderer Geruch; so bei Alkohol von 0,809 specifischem Gewicht zwischen Platindrähten 8 Tage lang galvanisirt ein Geruch, der zwischen dem von Trigon. foen. graec. und dem der Blüthen von Saponaria off. mitten inne lag; bei Alkohol von 0,789 specifischem Gewicht mit rauchendem Wesen der Nordhäuser Schwefelsäure bis zu 1,013 specifischem Gewicht gesättigt ein heftiger Knoblauchgeruch, ohne daß Schwefelwasserstoffsäure darin entdeckt worden wäre.

Matteucci behauptet, folgende Beobachtungen gemacht zu haben, deren Genauigkeit wir übrigens dahingestellt sein lassen. Er legte einige Stücken Muskelfleisch auf Zinkplatten, andere auf Kupferplatten und wieder andere überließ er sich selbst. Die Fäulniß an den sich selbst überlassenen hatte schon begonnen, als sich noch keine Veränderung an denen zeigte, welche mit den Metallen in Berührung waren; und bei der später eintretenden Fäulniß zeigten sich die Producte auf beiden Metallen verschieden; es entwickelten sich nämlich ammoniakalische Producte und gekohltes Wasserstoffgas in den Muskeln, welche mit dem Zink in Berührung waren,

*) Pogg. XVI. 129.
**) Pogg. XIX. 77—78.

Die merkwürdigen Erscheinungen, welche das **Ammoniak**, wenn es in Berührung mit Quecksilber galvanisirt wird, darbietet, konnten die Vermuthung rege machen, daß sich ähnliche auch bei Anwendung der pflanzlichen Alkaloide statt Ammoniaks zeigen würden. Diese Vermuthung jedoch hat sich bei Versuchen, welche **Brande** *) über diesen Gegenstand angestellt hat, nicht bestätigt, es zeigten sich vielmehr, als befeuchtetes Morphin, Cinchonin, Chinin oder Lösungen ihrer Salze in Berührung mit Quecksilber galvanisirt wurden, durchaus keine bemerkenswerthen Erscheinungen; bloß dann, wenn das angewandte Alkaloid etwas Kalk enthielt, nahm das Quecksilber ein wenig butterartige Consistenz (vom Calcium) an. Die Alkaloidsalzlösungen werden auf die gewöhnliche Weise zersetzt, indem sich das Alkaloid am negativen Pole ausscheidet.

**Kastner** **) hat bei folgenden Versuchen die Bildung eines Ammoniumamalgams **in dendritischer Form** auf galvanischem Wege, indem er Quecksilber nach Art eines Zwischendrahtes auf Ammoniakflüssigkeit wirken ließ, beobachtet. Eine Vförmig gebogene Glasröhre wurde unten einige Linien hoch mit laufendem Quecksilber, darüber in beiden Schenkeln mit zerriebenem kohlensauren Ammoniak gefüllt, dann letzteres Salz mit Ammoniakflüssigkeit befeuchtet und hierauf die polirten Eisendrähte der Pole einer frischgebaueten galvanischen Säule (aus 75 Kupferzink-Plattenpaaren, jede zu 75 Quadratzoll Fläche und mit heißer Salmiaklösung geschichtet) in das feuchte Salz ungefähr $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll tief getaucht. Dem positiven Polardraht gegenüber erfolgte rasch Bildung des Ammoniumamalgams, **in Form lebhaft bläulichweiß glänzender Dendriten**, die bis gegen $1\frac{1}{2}$ Zoll hoch in den Schenkel hinaufwuchsen ***). (Als zu einer andern Zeit der Versuch mit derselben Säule so wiederholt wurde, daß das Quecksilber die unmittelbare Verlängerung des negativen Drahtes bildete, entstand das Ammoniumamalgam nur in der gewöhnlichen Form einer mattglänzenden, aufgequollenen Substanz.) **Kastner** hob mittelst eines schmalen Messers etwas von dem dendritischen Ammoniumamalgam heraus, trocknete es so viel als thunlich mit Fließpapier, legte es dann in einen eisernen, mit dem Kupferpole in leitender Verbindung stehenden, Löffel, und schloß nun die Kette, indem er das freie Ende des Zinkpoleisendrahtes der Oberfläche des Amalgams näherte. Augenblicklich erfolgte Verbrennung unter lebhaftem purpurweißlichen Lichte, das späterhin, nachdem schon wieder alles im Löffel befindliche Amalgam zu tropfbarem Quecksilber zurückgekehrt war, in grünlich bläuliches Licht überging und nun erst auf seinem Spiegel die bekannten Oxydfiguren darbot.

*) Journ. of the royal. Inst. Nr. II. Febr. 1831. 250; oder Schweigg. J. LXII. 82; oder Buchner's Rep. XXXVII. 288.

**) Kastn. N. Arch. I. 432.

***) Dem negativen Pole gegenüber bildete sich an dem andern Ende des Quecksilbers eine bräunlich-schwärzliche Masse, die hie und da zur Dendritenform neigte und mitunter von graumetallisch glänzenden Theilchen durchsetzt erschien.

Runge*) hat beobachtet, daß, wenn man eine blanke Zinkplatte mit Ätzkalilauge (aus 1 Kali und 4 Wasser bereitet) übergießt und auf dieselbe verschiedene Metalle legt, z. B. Platin, Gold, Silber, Kupfer, Blei, Zinn und Eisen, ohne daß sie einander berühren, so wird man finden, daß von allen diesen Metallen nur zwei, nämlich Platin und Eisen, Gas entwickeln, und zwar letztes so stark, daß es die Gasentwickelung durch das Platin wenigstens um das Dreifache übertrifft. Das Zink wird zugleich sehr rasch aufgelöst, wenn es in Berührung mit Eisen ist. In der That ergaben sich bei vergleichenden Versuchen, wo eine Zinkplatte 1) für sich, 2) mit Platin, 3) mit Eisen, jedesmal 20 Stunden lang unter Kalilauge in Berührung gelassen wurde, folgende Gewichtsverluste:

1) Verlust der einzelnen Zinkplatte . . . 0,5 Gran
2) Verlust der Zinkplatte mit Platin . . . 5,6
3) Verlust der Zinkplatte mit Eisen . . . 73,8

Das Eisen so wenig als das Platin hatten dabei einen Gewichtsverlust erfahren.

Man kann von dieser Erfahrung Nutzen zur Bereitung des Wasserstoffgases ziehen. Sie beruht, wie es scheint, auf einer erhöheten Negativität, welche das Eisen erlangt.

Lüdersdorf**) hat sehr umständliche Versuche über die Wirkung des Galvanismus auf verschiedentlich verdünnten Alkohol mit oder ohne Zusatz von Säuren angestellt, aus denen ich indeß kein besonders interessantes Resultat abzuleiten weiß, da die Producte nicht gehörig untersucht wurden. Bei mehreren Versuchen entwickelte sich nach längerm Galvanisiren ein besonderer Geruch; so bei Alkohol von 0,809 specifischem Gewicht zwischen Platindrähten 8 Tage lang galvanisirt ein Geruch, der zwischen dem von Trigon. foen. graec. und dem der Blüthen von Saponaria off. mitten inne lag; bei Alkohol von 0,789 specifischem Gewicht mit rauchendem Wesen der Nordhäuser Schwefelsäure bis zu 1,013 specifischem Gewicht gesättigt ein heftiger Knoblauchgeruch, ohne daß Schwefelwasserstoffsäure darin entdeckt worden wäre.

Matteucci behauptet, folgende Beobachtungen gemacht zu haben, deren Genauigkeit wir übrigens dahingestellt sein lassen. Er legte einige Stücken Muskelfleisch auf Zinkplatten, andere auf Kupferplatten und wieder andere überließ er sich selbst. Die Fäulniß an den sich selbst überlassenen hatte schon begonnen, als sich noch keine Veränderung an denen zeigte, welche mit den Metallen in Berührung waren; und bei der später eintretenden Fäulniß zeigten sich die Producte auf beiden Metallen verschieden; es entwickelten sich nämlich ammoniakalische Producte und gekohltes Wasserstoffgas in den Muskeln, welche mit dem Zink in Berührung waren,

*) Pogg. XVI. 129.
**) Pogg. XIX. 77–78.

und essigsaures Kupfer in denen, welche mit dem Kupfer in Berührung standen. Ähnliche und vielleicht noch deutlichere Resultate behauptet der Verfasser an Muskelfasern, welche an den Polen einer galvanischen Säule angebracht waren, erhalten zu haben, ohne daß nähere Data beigefügt sind (Ann. de Ch. et de Ph. XLII. 311).

Fischer stellt in seiner Schrift: Das Verhältniß der chemischen Verwandtschaft ꝛc. S. 13 aufs Neue die Ansicht auf, daß die fleckenweise Färbung, welche feuchte reagirende Papiere auf Zink oder Eisen erleiben, einzig und allein in dem ungleichen Anliegen der Papiere an die Metallfläche und dem verschiedenartigen und nicht gleichzeitigen Verdunsten und Trocknen der verschiedenen Stellen des Papieres seinen Grund habe. Diese Ansicht scheint mir jedoch durch folgende Versuche, welche ich selbst angestellt, widerlegt zu werden *), wo die Erscheinung nicht an Lackmuspapier, sondern an Lackmustinctur beobachtet ward.

Weit deutlicher nämlich, als mittelst gefärbter Papiere, läßt sich die Entwickelung des Phänomens verfolgen, wenn man unmittelbar eine Schicht (wäßrige) Lackmustinctur auf eine Zink- oder Eisenplatte ausbreitet. Man sieht in diesem Falle an discreten Stellen des Zinks oder Eisens sehr kleine, nicht sowohl rothe, als dunkelschwarze Puncte sich entwickeln, jeden dieser Puncte aber allmälig sich auf dem Zink mit einem rothen, auf dem Eisen mit einem braungelben **), an Umfang immer mehr bis zu gewissem Grade zunehmenden, Hofe umgeben, doch so, daß das schwarze Centrum deutlich geschieden bleibt von seinem hellern Hofe. Bei isolirt von einander stehenden Centris behalten die Höfe eine kreisförmige Gestalt; stehen sich jedoch die Centra, wie an den meisten Stellen, näher, so fließen ihre Höfe zusammen und bilden so ähnliche unregelmäßige Figuren, als man auch auf dem Lackmuspapier wahrnimmt. Die Färbung der Mittelpuncte und ihrer Höfe haftet an der Zinkplatte selbst, und läßt man die Lackmustinctur darauf eintrocknen, so zeigt sich an diesen Stellen das Zink oxydirt und aller Farbestoff darauf niedergeschlagen, so daß die zwischenbefindlichen Stellen vollkommen blank, frei sowohl von Oxyd als Farbe, erscheinen ***).

*) S. mein Lehrbuch des Galvanismus S. 426.

**) Auch die Flecken des Lackmuspapiers sind auf dem Eisen nicht roth, sondern braungelb.

***) Breitet man eine Schicht wässerigen Curcumäauszuges über Zink aus, so sieht man öfters dieselbe sich bloß an ihrem äußersten Rande etwas Weniges röthen, ohne eine bemerkliche Erscheinung in der Mitte; in der Regel aber ebenfalls hier das Phänomen von Mittelpuncten mit Höfen sich entwickeln, die jedoch hier ohne Vergleich vereinzelter und seltner stehen, als in der Lackmustinctur, auch langsamer zum Vorschein kommen. Die Mittelpuncte haben ein braungelbes wolliges Ansehen, wie kleine Schimmelpuncte, unstreitig von niedergeschlagenem Farbestoffe, und sind von einem runden hellgelben Hofe umgeben, in dessen Umkreise sich die Flüssigkeit röthet. Bei geistiger Curcumätinctur habe ich letztere Erscheinungen fast nie, sondern bloß eine deutliche Röthung im Umkreise der ganzen Schicht beobachtet.

Da Zink und Eisen, die einzigen Metalle, auf denen man bis jetzt das Entstehen der angegebenen Reactionen deutlich bemerkt hat, gerade solche Metalle sind, welche im käuflichen Zustande vorzugsweise mit Kohlenstoff und anderen Metallen verunreinigt sind, so lag die Vermuthung sehr nahe, daß in ihnen durch das Nebeneinandersein heterogener Substanzen die Bedingung galvanischer Ketten erfüllt sei, vermöge deren die in den Pflanzenpigmenten vorhandenen Salze zersetzt würden, so daß ihre Säure nach den positiven, ihr Alkali nach den negativen Stellen hingeführt, dort die ihnen eigenthümlichen Reactionen äußerten. Außer den hierauf hindeutenden Versuchen Jäger's mit Ketten aus Gold und Zink ließ sich u. a. auch noch folgende Erfahrung dafür anführen. Wenn eine Zinnplatte auf eine Platte von Gold, Silber oder Platin so gelegt ward, daß sie einander nur zum Theil deckten, darauf über beide gemeinschaftlich ein Blatt feuchtes Lackmuspapier ausgebreitet, so daß es wohl in ihre Fuge einschloß, so entwickelten sich stets in dieser Fuge rothe oder gelbrothe, öfters allmälig zusammenlaufende, Flecke, ungeachtet weder Zinn noch die edleren Metalle für sich diese Reaction auf Papier, das mit reiner Lackmustinctur befeuchtet ist, hervorzubringen vermögen, so wie auch in jenem Falle die Röthung bloß in der Gegend entsteht, wo das Papier die Berührungslinie beider deckt. Ebenso, wenn man Zink auf dieselbe Weise mit einem edlen Metalle combinirt, röthet sich constant die ganze Fuge zwischen beiden, abgesehen von den, wie gewöhnlich auf der übrigen Oberfläche des Zinkes erscheinenden, Flecken. Doch muß ich bemerken, daß dieser Versuch weder, wenn ich Zinn mit Kupfer, noch wenn ich Blei oder Kupfer mit edlen Metallen combinirte, gelang.

Man kann sich in der That, wenn man das Phänomen auf die Seite 6 beschriebene Weise sich entwickeln läßt, sich beim Anblicke der zuerst erscheinenden isolirten schwarzen Stippchen nicht des Gedankens an einen eingestreueten Stoff, der diesen Stellen entspreche, erwehren, und erkennt leicht, daß diese Art Heterogeneität der Oberfläche nichts gemein hat mit der Art, welche von einem unregelmäßigen krystallinischen Gefüge der Metalle abhängt und namentlich durch Behandlung mit Säuren bemerkbar wird *). Es ist nicht wahrscheinlich, daß dieser eingestreuete Stoff metallischer Natur sei, da er sonst unstreitig eine gleichförmigere Verbreitung angenommen haben würde; auch habe ich mich direct an Zink, der frisch aus Goslarschem Zink destillirt war, überzeugt, daß die Erscheinung ebenfalls darauf erfolge. Am wahrscheinlichsten möchte ich es daher halten, daß es eingestreueter Kohlenstoff ist, welcher die angegebenen Erscheinungen bedingt, da in der That Zink und Eisen solchen vorzugsweise enthalten, und da seine große Elektronegativität der Erklärung sehr günstig ist **).

*) Auch würden dann sonst Wismuth und Antimon die beschriebenen Erscheinungen deutlicher als Zink und Eisen zeigen, dagegen sie hier gar nicht bemerkt werden.

**) In der That blieb auch bei Auflösung jenes destillirten Zinks in Salz-

Einige andere Beobachtungen über diese Erscheinungen wird man in der Anmerkung beigefügt finden *).

Es ließ sich nach einigen neueren Erfahrungen die Vermuthung aufstellen, die Reactionen des Zinkes und Eisens rührten daher, daß sie auf eine eigenthümliche Weise die Elemente des Wassers und der Luft zur Bildung von Ammoniak und Salpetersäure disponirten. Indeß, wenn auch ein Versuch, zufolge dessen eine mit feuchtem Lackmuspapier belegte und sofort unter Quecksilber getauchte, Eisenplatte hierin ihre Reactionen wie gewöhnlich äußerte, nichts dagegen beweisen sollte, weil mit dem Papier selbst Luft und Wasser genug unter das Quecksilber geführt werden möchte, so wird doch diese Vermuthung einfach dadurch widerlegt, daß die elektrischen Reactionen nicht durch Erhitzung verschwinden, welche schon früher gemachte Erfahrung ich bestätigt gefunden habe.

## Über die Anwendung der galvanischen Kette zur Prüfung der Reinheit der Metallsalze und Metalle.

Nicht nur die einfache Fällung der Metalle aus ihren Auflösungen durch andere positivere Metalle, sondern auch, und zwar in noch weiterm Umfange, die Anwendung der einfachen oder zusammengesetzten galvanischen Kette kann zur Entdeckung von Verunreinigungen durch Metallsalze und

säure noch ein schwarzes Pulver zurück, so daß sonach Kohlentheilchen bei der Destillation mit übergerissen werden müssen. — Ich muß bei alledem bemerken, daß ich vergebens versucht habe, durch Einrühren von Kohlenpulver in schmelzendes Zinn oder Blei eine Mischung hervorzubringen, welche dieselben Erscheinungen dargeboten hätte, als Zink.

Ich glaube öfters die Entwickelung der rothen Flecke in der Lackmustinctur auf dem Zink von schon vorher bei genauer Aufmerksamkeit oder unter der Lupe sichtbaren schwarzen Puncten der Oberfläche bemerkt zu haben. Doch möchte ich bei der Leichtigkeit der Täuschung dies nicht eher sicher behaupten, als bis Andere diese Beobachtung bestätigt finden.

*) Ich beobachtete constant, wenn ich Papier, mit Lackmustinctur getränkt, die mit Kochsalz gesättigt war, auf Zinn applicirte, daß darauf einzelne rothgelbe Flecken entstanden, doch viel langsamer und vereinzelter, als auf Zink, Flecken, welche nicht entstanden, wenn reine Lackmustinctur angewandt wurde. Auf Blei konnte ich unter gleichen Umständen keine solchen Flecken erhalten; Spuren davon schienen sich einigemale auf Kupfer zu zeigen. Auf Zink hingegen entwickelten sich unter diesen Umständen die rothen Flecke viel langsamer und minder intensiv, als wenn das Papier mit reiner Lackmustinctur befeuchtet war, erhielten aber eine bei Weitem beträchtlichere Ausdehnung. Wurde Lackmustinctur, mit Kochsalz versetzt, auf das Zink gegossen, so entstand auch in sehr langer Zeit keine Spur von rothen Flecken darauf, die sich doch bei reiner Lackmustinctur sehr bald entwickelten. Auf Eisen entstanden zwar in diesem Fall die gewöhnlichen Flecken, aber nicht in der Mitte, sondern nur vom Umfang herein. Wurde durch etwas Säure geröthete Lackmustinctur auf Zink gegossen, so entstand Anfangs keine Reaction in der Mitte (wiewohl sich solche auch hier bald entwickelt, wenn man die geröthete Tinctur in Papier applicirt), sondern die Schicht fing an, sich am ganzen Umfange zu bläuen, welche Bläuung nur allmälig bis zur Mitte fortschritt 2c.

Metalle selbst dienen, worüber Fischer (Erdm. J. VII, 59) folgende belehrende Erörterungen gegeben hat.

Gesetzt, wir wollten z. B. Blei auf einen Silbergehalt prüfen, so können alle Metalle, welche das Silber, aber nicht das Blei niederzuschlagen vermögen, mithin im Allgemeinen solche, die in der elektrischen Reihenfolge zwischen Blei und Silber stehen, zur Prüfung angewandt werden. Auf solche Weise hat z. B. Fischer schon früher Silber im käuflichen Bleizucker entdeckt. Man sieht leicht, wie sich dies Beispiel verallgemeinern läßt. Doch giebt dies Verfahren in mehreren Fällen deshalb kein sicheres Ergebniß, weil die Gegenwart des einen Salzes sehr oft hemmend auf die Reduction eines andern wirken kann *); daher ist im Allgemeinen die im Folgenden auseinanderzusetzende Anwendung der galvanischen Kette vorzuziehen.

Zu diesem Zweck bringt man das positive Metall des vorigen Verfahrens nicht für sich in die zu prüfende Salzauflösung, sondern in Berührung mit einem sehr elektronegativen Metall, Gold oder Platin, mit dem es solchergestalt eine einfache Kette darstellt. Vorausgesetzt ist allerdings bei diesem, wie bei dem vorigen Verfahren, daß das fremdartige beigemischte Salz, das man aufsucht, aus einem negativern Metalle gebildet sei, als das, dessen Reinheit man eben prüft, weil im umgekehrten Falle das zwischen beiden Metallen in der elektrischen Reihenfolge innestehende Metall, das man zum positiven Gliede der einfachen Kette zu machen hat, anstatt des beigemischten Metalles vielmehr das eigentliche Metall der Auflösung niederschlagen würde. Indeß kann man sich doch in diesem Falle dadurch helfen, daß man zuerst durch eine geeignete mittelbare Kette das eigentliche Metall reducirt, wo dann in der Flüssigkeit das mehr positive aufgelöst bleibt, und nun durch die bekannten Reagentien leicht entdeckt werden kann, was früher nicht der Fall war.

Ist endlich das beigemischte positive Metall von der Art, daß es ein Superoxyd zu bilden vermag, so ist es noch leichter dadurch zu entdecken, daß man die galvanische Kette in zwei abgesonderte Gefäße stellt, welche mit der Metallauflösung gefüllt sind, und beide getrennte Flüssigkeiten durch einen Metallbogen in Verbindung setzt. Das positive Ende dieses Bogens **) belegt sich dann mit dem gebildeten Superoxyde. Da jedoch diese Art Ketten nur in den seltensten Fällen wirksam sind, wie Fischer anderwärts zu zeigen verspricht, so ist sicherer, anstatt der einfachen Kette eine Säule, wozu im Allgemeinen 4 bis 6 Zink-Kupferplattenpaare von 1 Quadratzoll Fläche hinreichend sind, anzuwenden. Durch diese kleine Säule

*) So z. B. hat Fischer und schon vor ihm der Engländer Keir beobachtet, daß wenn eine sehr geringe Menge salpetersaure Silberauflösung zu salpetersaurer Kupferauflösung gesetzt wird, diese nicht mehr durch Eisen gefällt zu werden vermag. (Vergl. Biot's Lehrb. III. S. 410.)

**) D. i. das, welches sich dem negativen Metalle gegenüber befindet.

können sehr geringe Spuren von Blei und Mangan entdeckt werden *). Um hingegen Spuren von Nickel und Kobalt durch Bildung von Hyperoxyd zu entdecken, müssen stärkere Säulen, etwa von 50 Plattenpaaren, angewandt werden.

Eine weit allgemeinere Anwendung als für Metallsalze findet die galvanische Kette zur Prüfung der Reinheit der Metalle selbst. Man bringt zu diesem Ende das Metall in Berührung mit Gold oder Platin, am besten durch Umwindung mit einem Platin= oder Goldstreifen, und setzt es einer Säure aus, welche es ruhig, d. h. ohne bedeutende Gasentwickelung, aufzulösen vermag; doch wird die Säure nur in geringer Menge angewandt, so daß nur ein kleiner Theil aufgelöst wird. Enthält nun dieses Metall ein anderes mehr negatives, so wird dieses im reducirten Zustande am Platin oder Golde sich darstellen; enthält es umgekehrt ein mehr positives, so wird anfangs das eigentlich zu prüfende Metall, später hingegen das mehr positive vom Platin reducirt erscheinen. Natürlich ist der erste Erfolg weit sicherer, als der zweite. Vortheilhaft ist auch hier die Anwendung der galvanischen Säule, als deren positiver Pol das zu untersuchende Metall, als negativer hingegen ein Gold= oder Platindraht angebracht wird, die man in dasselbe Gefäß mit Säure leitet. Auf diese Art gelang es Fischer, Spuren von Kupfer im Zink, Zinn und Blei, so wie in einer Nickelauflösung, und Spuren von Blei (als Superoxyd) in Kupfer=, Zink= und Uranauflösung unter Umständen zu entdecken, unter welchen es auf gewöhnlichem chemischen Wege durch die empfindlichsten Reagentien nicht möglich war.

---

## III. Erscheinungen, abhängig von Veränderungen, welche die metallischen Oberflächen unter dem Einflusse der Schließung durch die Flüssigkeit erfahren.

---

Zu den interessantesten Erscheinungen, welche der Galvanismus hervorzubringen vermag, gehört unstreitig die Bildung dünner Überzüge auf metallischen Platten, welche, an den Polardrähten einer Säule angebracht, in eine gemeinschaftliche, die Säule schließende, Flüssigkeit tauchen. Abgesehen von den Nobili'schen Figuren, welche hievon abhängen, scheinen auch, wie ich näher in meinem Lehrbuche des Galvanismus erörtert habe (S. 273), die Ladungsphänomene von solchen, häufig nur nicht sichtbaren, Überzügen

*) Nach einer Angabe von Fischer in Kastn. Arch. XVI. bilden Mangansalze bei so schwachen Säulen schon binnen wenigen Minuten Superoxyd, wenn sie nur zu $\frac{1}{12000}$ in der Auflösung enthalten sind; das Bleisuperoxyd stellt sich etwas langsamer her.

**) Schweigg. J. LX. 429.

herzurühren, wodurch die elektromotorischen Eigenschaften der Metalle modificirt werden. In Bezug auf das Thatsächliche solcher mit dem bloßen Auge nicht wohl erkennbarer, aber sich durch ihre Wirkungen sehr wahrnehmbar machender, Überzüge wird folgende Erfahrung Ohm's an Kupfer in Schwefelsäure Beachtung verdienen.

Wenn zwischen den, aus kupfernen Streifen bestehenden, Polen einer Säule durch concentrirte Schwefelsäure die Schließung bewirkt wurde, so sah man in längerer Zeit bloß an der Luftgränze des Kupfers und der Säure einen weißen, beim Trocknen an der Luft hellblau werdenden, aus schwefelsaurem Kupferoxyd bestehenden, allmälig in Flocken sich loslösenden, Ansatz sich bilden. Die Fläche des Kupferstreifens unter der Oberfläche der Säure bleibt aber anscheinend blank.

Daß dessenungeachtet die Oberfläche des positiven Poles eine Veränderung erfahren hat, giebt sich daraus zu erkennen, daß, wenn man jetzt die concentrirte Schwefelsäure durch Quecksilber ersetzt, gar keine Strömungswirkung sich an dem (in den Kreis der Säule eingeschalteten) Multiplicator zu erkennen giebt, die dagegen sofort in sehr starkem Grade eintritt, wenn man nur einen sehr kleinen Theil der positiven Fläche mit dem Messer abschabt, wonach die concentrirte Schwefelsäure einen nicht leitenden Überzug auf dem Kupfer gebildet haben mußte, der durch das Messer entfernt zu werden vermag. Die Bildung dieses nicht leitenden Überzuges giebt sich auch schon während der Schließung durch die Schwefelsäure zu erkennen, indem die anfangs sehr starke Wirkung auf den Multiplicator einen sehr schnellen Abfall erleidet, und zwar anfangs eine ziemlich lebhafte Gasentwickelung am Ende des in die Säure reichenden positiven Bogens Statt findet, diese aber sehr bald gänzlich aufhört.

Übrigens kann man die, mit bloßem Auge allerdings nicht wahrnehmbare, Veränderung, welche die Oberfläche des Kupfers in der Säure erlitten hat, doch nach Ohm mit der Lupe bemerken. Betrachtet man nämlich das Kupfer aufmerksam mit einer solchen, nachdem es herausgenommen und an der Luft trocken geworden ist, so wird man gewahr, daß es, so weit es in die Säure geragt hat, mit einer glänzenden farblosen und durchsichtigen Rinde überzogen ist. Schabt man diese Rinde behutsam mit dem Messer ab, so erhält man ein weißes, hier und da mit dunkelen Stellen geflecktes, Pulver, welches mit dem an der Luftgränze gebildeten Salze gleiche Eigenschaften zeigte.

Nobili *) hat die Kunst, Metallplatten auf galvanischem Wege zu färben, neuerdings noch mehr ausgebildet; während er früher diese Färbungen nur unter Gestalt von Ringen zu erhalten vermochte, ist es ihm neuerdings gelungen, Metallplatten eine über ihre ganze Oberfläche gleichförmige Farbe zu ertheilen, und diese Farbe beliebig abzustufen, so daß

*) Bibl. univ. 1836. Août. 337, oder Erdmann's J. IX. 187 oder Schweigg. J. LXI. 406.

er alle Nuancen, welche in den Newton'schen Farberingen inbegriffen sind, hervorzubringen vermag; denn da diese Färbungen bloß auf der Bildung dünner Überzüge beruhen, die sich unter dem Einflusse des Galvanismus aus der Flüssigkeit auf die Metallplatten absetzen, so kann man, je nachdem man die Wirkung längere oder kürzere Zeit andauern läßt, die Dicke dieses Überzuges beliebige Stufen durchlaufen lassen, und wir werden in der Lehre vom Lichte sehen, welche Anwendung Nobili hievon zur Construction einer Farbenscale gemacht hat. Nobili hat das Verfahren, durch welches er die gleichförmige Farbe hervorzubringen vermag, noch nicht genau beschrieben, sondern bloß so viel erwähnt, daß man sie dadurch erhält, daß man der Platinspitze, welche zur Erzeugung der farbigen Ringe dient, eine ebene Platte substituirt. Nobili giebt seiner Kunst den Namen Metallochromie und beabsichtiget, sie in einer besondern Schrift zu beschreiben.

---

## IV. Erzeugung verschiedener Verbindungen auf elektrochemischem Wege, von Becquerel*).

Becquerel hat mehrere einfache Methoden angegeben, durch eine sehr langsame galvanische Wirkung chemische Verbindungen, wie Oxyde, Schwefelmetalle, Jodmetalle, Chlormetalle, verschiedene Salze, in krystallisirtem Zustande darzustellen, deren mehrere sich sonst nur schwer oder nicht auf gewöhnlichen chemischen Wegen in diesem Zustande erhalten lassen. Diejenigen dieser Verbindungen, welche auch in der Natur krystallisirt vorkommen, sind den von Becquerel auf galvanischem Wege erzeugten so ähnlich, daß derselbe glaubt, es möchte bei ihrer Bildung ein ähnlicher Vorgang wirksam gewesen sein. Die Verfahrungsweisen, die Becquerel anwandte, beruhen zum Theil auf Kettenanordnungen mit zwei flüssigen, zum Theil auf solchen mit zwei festen Leitern.

1) Bildung krystallisirter Oxyde von Kupfer, Blei, Zink. Man thue auf den Boden einer, an einem Ende verschlossenen, Röhre Kupferoxyd, fülle die Röhre mit einer Auflösung von gesättigtem salpetersauren Kupferoxyd, tauche darauf einen Kupferstreifen bis zur Berührung des Oxyds hinein und verschließe die Röhre hermetisch. Nach Verlauf von etwa 10 Tagen bemerkt man auf dem Kupferstreifen kleine metallglänzende kubische Krystalle, welche Kupferoxydul sind**).

*) Mém. de l'Acad. 1830. IX. 575; oder Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 28; oder Pogg. XVI. 306. — Derselbe in Mém. de l'Acad. 1831. X. 259, 271; oder Ann. de Ch. et de Phys. XLIII. 93; oder Baumg. Zeitschr. VIII. 83.

**) Je nach der mehr oder minder großen Menge von Kupferoxyd, welche in der Röhre vorhanden ist, gehen die Erscheinungen auf verschiedene Weise vor

Auf ähnliche Weise kann man nach Becquerel auch Bleioxyd krystallisirt erhalten, indem man gepulverte Bleiglätte, einen Streifen Blei und eine Lösung von basisch essigsaurem Blei unter die eben angegebenen Umstände bringt. Auch Zinkoxyd gelang es Becquerel, auf diese Weise krystallisirt darzustellen.

2) Bildung krystallisirter Chlormetalle (von Silber und Kupfer). Man gieße in eine, an einem Ende verschlossene, Glasröhre concentrirte Salzsäure und tauche einen Streifen Silber hinein, der mit einem Draht vom nämlichen Metall an einem Stück Anthracit oder Kohle befestigt ist, und verschließe darauf die Röhre, so daß bloß eine ganz kleine Öffnung bleibt, um dem während der Reaction der Körper sich entwickelnden Gase den Ausgang zu verstatten. Das Silber, welches gegen die Kohle positiv elektrisch wird, zieht das Chlor an, und verbindet sich mit ihm, während der Wasserstoff der Salzsäure an den Kohlenstoff tritt und damit eine gasförmige Kohlenwasserstoffverbindung bildet, die durch die gelassene Öffnung entweicht, aber, im Fall keine Öffnung gelassen wurde, die Röhre bald zersprengt. Die Verbindung des Chlors mit dem Silber krystallisirt in Oktaedern, wie die, welche man in der Natur findet. Die Krystalle wachsen langsam an. Becquerel erhielt ihrer von 1 Millimeter Seite. Sie sind vollkommen durchsichtig und besitzen alle Eigenschaften des Chlorsilbers.

Substituirt man dem Silber einen Kupferstreifen, und verschließt die Röhre hermetisch, so entbindet sich ebenfalls Kohlenwasserstoffgas, welches die Röhre zersprengt; nach 6 bis 12 Monaten bedeckt sich der Streifen mit schönen tetraedrischen Krystallen von Kupferchlorür (salzsaurem Kupferoxydul), die sich bei Luftzutritt in Chlorid (salzsaures Kupferoxyd) verwandeln. Setzt man aber den Versuch bei Ausschluß der Luft fort, so ändert die Flüssigkeit ihre Farbe, wird braun, hell, dann dunkel und die

sich. Im Fall es in großem Überschuß vorhanden ist, so findet zuerst Bildung und Krystallisation des Oxyduls Statt; die Auflösung entfärbt sich allmälig, wird sodann farblos, man bemerkt auf den inneren Wänden der Röhre Krystalle von salpetersaurem Ammoniak, und die Flüssigkeit enthält nur noch eine gesättigte Auflösung dieses Salzes und einige Spuren von Kupfer. Manchmal vergehen sechs Monate, bevor man dieses Resultat erlangt, welches von der angewandten Quantität Oxyd abhängt. Alles dies geht bei Ausschluß der Luft vor sich, denn die Röhre ist als hermetisch verschlossen angenommen. Das Ammoniak hat sich auf Kosten des Wasserstoffs des Wassers und Stickstoffs der Salpetersäure bilden müssen.

Ist die Quantität angewandten Oxyds sehr gering, so ist der Hergang folgender: Die Krystalle von Oxydul bilden sich ebenfalls, aber allmälig verlieren sie ihren Glanz und erfahren zuletzt eine Veränderung, die bei einem gewissen Puncte stehen bleibt; die Auflösung bleibt stets gefärbt, und es tritt von jetzt an keine weitere Veränderung in der Auflösung ein.

Die Materie, in die sich das Kupferoxyd hiebei verwandelt, ist nach Becquerel's Analyse aus 0,5 Salpetersäure (2 Atome) und 1,2 Kupferoxyd (3 Atome) zusammengesetzt; mithin ein basisches Salz.

Krystalle verschwinden. Die Kohle wird stark angegriffen und erzeugt eine Verbindung, die Becquerel noch nicht analysirt hat. Die Krystalle, welche oft 2 Millimeter Seite haben, sind ganz wasserklar.

3) Bildung von krystallisirten Schwefelmetallen. Man nimmt zwei kleine, an ihren beiden Enden offene, Röhren, verschließt sie unten durch ganz feinen, mit einer leitenden Flüssigkeit befeuchteten, Thon, gießt in die eine Röhre eine gesättigte Auflösung von salpetersaurem Silber, in die andere eine Auflösung von unterschwefligsaurem Kali, die man durch Zersetzung des Schwefelkaliums an der Luft erhält, setzt beide Röhrchen in eine größere, mit einer leitenden Flüssigkeit*) gefüllte Röhre, und verbindet die Flüssigkeit in beiden Röhrchen (die nicht oben verschlossen werden) durch Eintauchen der beiden Enden eines gebogenen Drahtes oder Streifens von reinem Silber. Das Silberende, welches in die salpetersaure Silberauflösung taucht, bedeckt sich mit metallischem Silber, während an dem in der andern Röhre befindlichen Ende zuerst ein Doppelsalz von unterschwefligsaurem Silber und Kali in schönen Prismen krystallisirt, das aber bald in schwefelsaures Kali und Schwefelsilber übergeht, welches unzersetzt bleibt, so lange noch keine hinreichende Quantität Salpetersäure frei geworden ist, um darauf zu reagiren. Während dieser Wirkung verdampft ein Theil der Flüssigkeit, und es bleibt über dem Boden der Flüssigkeit bloß noch eine teigartige Materie, in deren Mitte das Schwefelsilber nach Art des natürlichen in schönen kleinen bleigrauen Oktaedern krystallisirt, und zwar nicht bloß am Silber, sondern auch an den Wänden der Röhre.

Ersetzt man bei vorigem Versuche die Auflösung des salpetersauren Silbers durch salpetersaures Kupfer, und den Silberstreifen durch einen Kupferstreifen, so bildet sich anfangs ein Doppelsalz von unterschwefligsaurem Kupfer und Kali, welches in ganz feinen seidenartigen Nadeln krystallisirt und sich allmälig zersetzt, wo dann an den Kupferstreifen abgeplattete metallischgraue Krystalle, von Schwefelkupfer, mit dreiseitigen Flächen von 2 Millimetern Länge sich ansetzen.

Wendet man dieselben Flüssigkeiten als bei diesem Versuche an, verbindet aber dieselben anstatt durch einen einfachen Kupferbogen durch einen Bogen, der aus Kupfer und Antimon zusammengesetzt ist, so daß das Kupfer in die salpetersaure Kupferauflösung, das Antimon in die Auflösung von unterschwefligsaurem Kali taucht, so überzieht sich das Antimonende, so wie die Wände der Röhre, worin es sich befindet, mit einem braunrothen Niederschlage, und einige Zeit darauf bilden sich auf dem Antimon kleine rothe oktaedrische Krystalle und Blätter, die sich chemisch wie Kermes verhalten.

Auf analogem Wege erhält man das Schwefelzinn in ganz kleinen metallisch weißglänzenden kubischen Krystallen.

*) Es ist wesentlich, daß ihr Leitungsvermögen nicht zu gut sei.

Auch Schwefeleisen erhielt Becquerel zweimal auf solchem Wege in kleinen gelben kubischen Krystallen, wobei es jedoch erforderlich war, die Röhre, worin sich das unterschwefligsaure Kali befand, hermetisch zu verschließen; doch glückte der Versuch hier nicht stets. Schwefelzink auf solche Weise zu erlangen, gelang bis jetzt nicht; in Bezug auf Schwefelblei und Schwefelquecksilber waren die Versuche des Verfassers noch nicht beendigt.

4) Bildung krystallisirter Jodmetalle. Man substituirt in dem vorigen Apparate jodwasserstoffsaures Kali oder Natron anstatt des unterschwefligsauren Kalis, und erhält dann z. B. mit Blei zuerst eine Doppelverbindung von Jod mit Blei und Kalium, die in ganz feinen weißen seidenartigen Nadeln krystallisirt, sich aber allmälig zersetzt, worauf eine große Menge goldgelbe glänzende Krystalle von Jodblei, welche vom regelmäßigen Oktaeder ableitbar sind, entstehen. Das Kupfer giebt unter denselben Umständen erst eine Doppeljodverbindung in weißen nadelförmigen Krystallen, dann schöne oktaedrische Krystalle von Jodkupfer. Andere Metalle würden wahrscheinlich analoge Resultate darbieten, so wie man auch unstreitig Brommetalle, Selenmetalle auf diesem Wege krystallisirt erhalten würde, was der Verfasser aber noch nicht direct untersucht hat.

5) Bildung von Doppel-Chlor-, Jod-Brom-Verbindungen von Kupfer, Blei, Silber. Man nimmt eine Uförmig gebogene Röhre, und füllt ihre Biegung mit feuchtem Sand oder Thon, woraus zuvor das Eisen durch Salzsäure ausgezogen ist, an*). In den einen Schenkel gieße man nun z. B. eine Auflösung von schwefelsaurem oder salpetersauren Kupfer, in den andern eine Kochsalzauflösung, verbinde die Flüssigkeiten beider Schenkel durch einen gebogenen Kupferstreifen und verschließe alle Öffnungen durch Kitt. Das Ende, welches in die Metallauflösung taucht, überzieht sich allmälig mit metallischem Kupfer, und es wird hier Salpetersäure frei. Im andern Schenkel oxydirt sich das daselbst befindliche Ende des Kupferstreifens schnell; ein Antheil Chlor tritt an das gebildete Oxyd und bildet ein Oxydchlorid, welches sich mit dem Chlornatrium verbindet. Diese Verbindung krystallisirt allmälig auf dem Kupferende in schönen tetraedrischen Krystallen **); um sie jedoch von 2 bis 3

*) Dieser Zwischenkörper hat zum Zweck, die schnelle Vereinigung der Flüssigkeiten, die respectiv in die zwei Schenkel gegossen werden, zu hindern. Becquerel führt folgendes Beispiel an, wie wirksam der Sand in dieser Hinsicht sei. Eine Uförmig gebogene Röhre von 11 Zoll Höhe und 1,8 Linien Durchmesser wurde zur Hälfte mit feuchtem Sande angefüllt, dann in einen Schenkel ein Lackmusaufguß, in den andern Schwefelsäure gegossen. Mehr als drei Wochen vergingen, ohne daß man die geringste Veränderung in der Farbe des Lackmus bemerkte.

**) In Berührung mit Wasser löst sich das Chlornatrium aus dieser Verbindung auf, und das Oxychlorid, welches Becquerel aus 80 Kupferoxyd (2 At.), 20 Salzsäure (1 At.) bestehend fand, fällt nieder.

Millimeter Länge zu haben, muß man ein Jahr warten, und Sorge darauf verwandt haben, daß der Vermischung der Flüssigkeiten in beiden Röhren ein hinlängliches Hinderniß entgegengesetzt worden sei.

Die salzsauren Salze von Ammoniak, Kalk, Kali, Baryt, Strontian, Magnesia geben mit dem Kupfer analoge Producte als das Kochsalz, die ebenfalls in regelmäßigen Tetraedern krystallisiren und mithin alle isomorph sind.

Das Silber so wie das Blei geben mit denselben salzsauren Salzen Verbindungen, die ebenfalls isomorph und den vorigen ähnlich sind.

Mittelst derselben Anordnungen kann man auch auf ganz analoge Art, indem man statt salzsauren Salzen jodwasserstoffsaure oder bromwasserstoffsaure anwendet, die den erwähnten Chlorverbindungen analogen Jod- und Bromverbindungen erzeugen.

Bei der Krystallisation der in Rede stehenden Verbindungen machte Becquerel öfters die Bemerkung, daß in den ersten Zeiten der Krystall vollständig war, wenn aber der Apparat lange Zeit stand, so stutzten sich die Ecken ab.

Apparat zur Hervorbringung verschiedener Verbindungen. Man stellt drei Gläser, die wir mit A, A′, A″ bezeichnen wollen, neben einander, füllt A mit einer Auflösung von schwefelsaurem oder salpetersauren Kupferoxyd, A′ mit einer Auflösung, auf welche man wirken will, A″ mit Wasser, das durch Zusatz von etwas Säure oder Kochsalz schwach leitend gemacht worden ist. A communicirt mit A″ durch eine gebogene Röhre, welche mit Thon gefüllt ist, den man mit einer Salzauflösung befeuchtet, deren Beschaffenheit von der Art Wirkung abhängt, die man in A″ hervorzubringen bezweckt, A′ und A″ werden durch einen Gold- oder Platinbogen mit einander in Verbindung gesetzt; endlich A und A″ durch einen einfachen Zink-Kupferbogen, so daß das Kupfer in A taucht. Zufolge dieser Anordnung kann das Ende des Gold- oder Platinbogens, welches in A′ taucht und das wir a′ nennen wollen, als der positive Pol einer kleinen Kette von sehr langsamer Wirkung angesehen werden. Das schwefelsaure Kupfer in A wird hierdurch zersetzt, sein Sauerstoff so wie die Schwefelsäure werden nach a′ geführt, und letztere treibt manchmal unterwegs die Säuren aus, die sie vorfindet, wenn sie weniger Verwandtschaft als sie selbst zu den Basen haben. Alle Bestandtheile gelangen in die Flüssigkeit A′, wo ihre langsamen Reactionen verschiedene Veränderungen bewirken.

Der so angeordnete Apparat hat einen großen Vortheil vor den bisher beschriebenen, indem er erlaubt, in größerm Maßstabe zu operiren und eine Reaction des Oxydes verhütet, welches sich in A′ bilden würde, wenn man ein oxydables Metall als positiven Pol anwenden wollte.

Oft ist man genöthiget, ein viertes Glas zwischen A und A′ einzuschieben, in welches man eine hinreichende Quantität der durch die Schwefelsäure zu zersetzenden Salzauflösung thut, damit die in der Flüssigkeit A′

vor sich gehenden Wirkungen nicht unterbrochen werden, wenn alle Flüssigkeit des Thons sich zersetzt hat.

Gesetzt nun, man hat die Absicht, ein elektro-negatives Gas oder eine Säure in das Glas A′ überzuführen, so braucht man nur in den Thon eine Auflösung zu bringen, aus welcher die Schwefelsäure, die von Zersetzung des schwefelsauren Kupfers herrührt, dies Gas oder diese Säure zu entbinden vermag. Will man dagegen Wasserstoff oder ein elektro-positives Gas nach A′ überführen, so muß man die Stelle des Platinstreifens und der mit Thon gefüllten Röhre verwechseln. Endlich kann man auch (wenn man dies beabsichtigt), die Mitwirkung einer Oxydbildung bei dem chemischen Processe erlangen, indem man den Platin- oder Goldstreifen durch einen Streifen aus oxydabelm Metalle ersetzt.

**Becquerel** beschreibt folgende Versuche, die mit diesem Apparate angestellt wurden:

**Krystallisation von Schwefel und kohlensaurem Kali.** Man gießt in A′ eine alkoholische Auflösung von Sulfocarbonat von Kali*), in A eine Auflösung von schwefelsaurem Kupfer und feuchtet den Thon der Röhre mit einer Salpeterlösung. Nach 24 Stunden bemerkt man auf dem Ende a′ des Platinbogens dieselben Producte, welche oben mit Blei erhalten wurden, nämlich Krystalle von Schwefel, von einfach kohlensaurem Kali ꝛc., jedoch, wie natürlich, nicht von kohlensaurem Blei.

**Krystallisation von Schwefel und schwefelsaurem Baryt.** Man substituirt dem Sulfocarbonat von Kali bei vorigem Versuche eine wässerige Auflösung von Sulfocarbonat von Baryt; es treten ähnliche Reactionen ein; **Schwefel** fällt in kleinen Krystallen nieder und **schwefelsaurer Baryt** krystallisirt in prismatischen Nadeln, die sich vielleicht von größeren Dimensionen erhalten lassen würden, wenn man das Ende des Platinstreifens löffelartig böge, damit die auf der Oberfläche desselben gebildeten Krystalle nicht herabfallen können.

**Krystallisation von schwefligsaurem Kupfer.** Man füllt A′ mit einer Auflösung von schwefligsaurem Kali und ersetzt den Platinbogen durch einen Kupferbogen. Sauerstoff und Salpetersäure begeben sich nach dem Ende a′, die letztere zersetzt das schwefligsaure Salz und bemächtigt sich ihrer Basis; die schweflige Säure tritt an das Kupferoxyd, welches sich zu gleicher Zeit bildet und verbindet sich mit ihm, und das so entstandene schwefligsaure Kupfer verbindet sich seinerseits mit dem schwefligsauren Kali, wodurch ein in schönen Oktaedern krystallisirendes **Doppelsalz** entsteht; da aber die Salpetersäure fortfährt anzulangen, so wird dies schwefligsaure Doppelsalz allmälig wieder zersetzt, es entbindet sich

*) Unstreitig ist hierunter das kohlengeschwefelte oder kohlenschweflige Schwefelkalium zu verstehen, welches man erhält, wenn eine Auflösung von Schwefelleber in Alkohol mit im Überschuß zugesetztem Schwefelkohlenstoff gesättigt wird. (Vergl. Pogg. Ann. VI. 450 oder Fechners Repert. der N. Entd. in der unorg. Ch. I. 289).

schweflige Säure und das schwefligsaure Kali verwandelt sich in doppelt schwefligsaures Kali und in salpetersaures Kali: das schwefligsaure Kupfer aber fällt in durchsichtigen hellrothen Oktaedern wie Pyropengranaten nieder.

---

## V. Niederschlagung der Metalle durch einander.

---

### Niederschlagung der Metalle in cohärenter Gestalt.

Bekanntlich erhält man bei Niederschlagung der Metalle durch einander aus ihren Auflösungen das gefällte Metall in loser Gestalt von wenig Zusammenhang. Zwar war unter gewissen Umständen auch die Entstehung von festem cohärenten Kupfer bei Fällung durch Eisen beobachtet worden; indeß waren doch die Umstände noch nicht bekannt, welche den Erfolg hiebei bedingten. Durch Versuche Wach's (Schweigg. LVIII. 20) ist dieser Gegenstand neuerdings aufgeklärt worden *), indem sich daraus ergeben hat, daß es hinreicht, die Einwirkung des fällenden Metalles auf die zu fällende Auflösung sehr zu verzögern, indem man das Metall durch thierische Blase oder andere, der Flüssigkeit nur langsam Durchgang verstattende, Körper von der zu fällenden Auflösung trennt, um durch Eisen oder Zink nicht nur Kupferauflösungen, sondern auch aus verschiedenen anderen Metallauflösungen (salzsaures Antimon, salpetersaures Wismuth, salzsaures Zinn, salpetersaures Silber, salzsaures Platin) festes cohärentes Metall niederzuschlagen **).

Auch wenn man eine einfache Kette zur Fällung anwendet, welche durch eine lange Flüssigkeitsleitung geschlossen ist, wird die Niederschlagung am negativen Metalle in cohärenter Form erfolgen. Die Versuche über diesen Gegenstand lassen sich unter verschiedenen Formen anstellen, die wir, da sie von Interesse sind, zum größten Theil mittheilen wollen ***).

*) Noch früher als Wach (nämlich zu Anfange des Jahres 1827) hat schon Mulder, Professor zu Franeker, analoge Versuche als Wach mit Fällung von Kupferauflösung durch Eisen, das in thierische Blase, Seide, Tuch u. dergl. eingewickelt worden, angestellt und beobachtet, daß durch das eingewickelte Eisen das Kupfer metallisch glänzend und krystallinisch, durch das bloße Eisen pulverförmig gefällt ward. Er hat aber die Erscheinungen weder in so augenfälligem Grade beobachtet, noch so weit verfolgt als Wach. Die Versuche Mulder's befinden sich in Brandes Arch. XXII. 291.

**) Mit anderen als den in der Einschaltung angegebenen Metallen glückte es dem Verfasser nicht, feste Metallvegetationen zu erlangen, namentlich nie mit Blei. Göbel (Schweigg. LX. 414) erhielt indeß auch mit Gold dergleichen.

***) Marx, der Wach's Versuche mit Erfolg wiederholt hat (Schweigg. LIX. 116), sagt darüber: „besonders gehören die Reductionen des Kupfers in festen krystallinischen und zweigigen Massen zu den schönsten Versuchen, die man in diesem Gebiete anstellen kann, und bei genauer Befolgung der angegebenen Vorschriften schlagen sie nie fehl“.

Fällung von Kupfer in cohärenter Form. Unter Zwischenwirkung von thierischer Blase.

1) Eine Lösung von 1 Theil schwefelsauren Kupfers in 6 Theilen Wasser bringe man in ein weites, 2 Pfund Wasser zu fassen fähiges, Colinderglas; in einen darauf passenden Deckel von Papier schneide man zwei kreisrunde Löcher, durch welche zwei an einem Ende mit Blase verschlossene Röhren eingesteckt werden, so etwa, daß der mit Blase verschlossene Theil zwei Zoll tief unter dem Niveau der Kupferlösung sich befindet. In beide Röhren wird etwas Brunnenwasser gegossen und in die eine dieser Röhren ein Streifen Zinkblech, in die andere ein Stäbchen Eisen gestellt. Schon nach einigen Stunden wird sich an beiden Röhren außerhalb der Blase Kupfer in metallisch fester Form ansetzen, während die Flüssigkeit in der Röhre zu steigen beginnt, und die Menge dieses Kupfers wird sich im Verlaufe von 14 Tagen sehr vermehren.

Die Form des so ausgeschiedenen Kupfers glich einem flachen Kuchen, worauf entweder kleine quadratische Flächen, wie von eingegrabenen Krystallen herrührend, oder kleine rundliche Erhöhungen sich zeigten. Es war übrigens dieses Cämentkupfer vollkommen metallisch fest, gleich einer im Feuer geschmolzenen Metallmasse, gab mit der Feile angestrichen eine reine Kupferfläche, war unter dem Hammer streckbar und zeigte ein specifisches Gewicht = 8,695. Bei Wiederholung des Versuches wurde das Kupfer auch zuweilen traubenförmig, nierenförmig oder in niedlichen Rosetten von vollkommen reiner Kupferfarbe und metallischer Festigkeit erhalten. Besonders schön war eine Form des Kupfers, welches aus seiner Lösung in Schwefelsäure durch Eisenfeile, die mit Stückchen desselben Metalles vermengt war, auf angegebene Weise erhalten ward. Dieses Kupfer bildete nämlich einen flachen Kuchen, worauf kleine Zweige und Verästelungen verworren mit einander verwachsen waren, ganz den Kupfervegetationen der Mansfelder Kupferwerke ähnlich.

2) Wurden, wie im vorigen Versuche, anstatt des Eisens, zerhackte Stückchen von reinem krystallisirten Zink in die Röhre gebracht, und auf dieselben etwas mit Schwefelsäure schwach angesäuertes Wasser gegossen, so entstand eine Vegetation, die gewöhnlich in der Form von der durch Eisen erhaltenen verschieden war. Es entstanden nämlich von den Puncten der Blase aus, welche das Zink berührten, kleine ästige Verzweigungen, die nach Verlauf eines Monates bis zu einer Länge von 2 Zoll gewachsen waren. Den übrigen Theil der Blase bedeckten niedrige Kupfervegetationen von Rosettenform, so daß das Ganze das Ansehen eines, auf einem Hügel gewachsenen, Strauches hatte. Eine ähnliche Vegetation wurde erhalten, als Wach anstatt der Zinkstäbchen in die mit Blase verschlossene Röhre eine Zinkstange von $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und 8 Zoll Länge stellte. Es erfolgte eine ausgezeichnete baumartige Vegetation. Indessen hat man es nach dem Verfasser keineswegs in der Gewalt, diese baum- und strauch-

artigen Vegetationen nach Gefallen entstehen zu lassen; öfters erscheinen sie unter denselben Umständen bloß in Rosettenform mit knospigen und kugeligen Erhöhungen. Jedenfalls soll die Kupfervitriollösung nicht allzu verdünnt angewandt werden. Der Verfasser empfiehlt auch hier die Auflösung von 1 Theil des Salzes in 6 Theilen Wasser. In Figur 1. und 2. sind einige dieser Kupferbäumchen abgebildet.

3) Von ganz anderer als der beschriebenen Form entstehen Vegetationen, wenn man auf folgende Weise experimentirt. Man verbinde einen schwachen versilberten Kupferdraht (von der Stärke einer Claviersaite Nr. 8.) mit der bei dem vorigen Versuche in der Röhre stehenden Zinkstange und leite denselben in die Kupferlösung hinab, so daß er etwas über 2 Zoll tief hineintaucht*). Derselbe wird sich dann mit einer krystallinisch glänzenden Kupferrinde überziehen, auf deren Oberfläche Warzen, Knospen und ähnliche Formen entstehen, zwischen welchen auch draht- und haarförmiges Kupfer hervorwächst. Vorzüglich am Ende des Drahtes entstanden öfters die schönsten, bis zu einer Länge von 1 Zoll und darüber anwachsenden, Verzweigungen. Öfters auch bildeten sich auf dem Drahte oktaedrische Krystalle von einer (wahrscheinlich wegen Zinkgehalt) ins Gelbliche neigenden Kupferfarbe, vorzüglich alsdann, wenn eine neutrale schwefelsaure Kupferauflösung angewandt worden; enthielt aber die Kupferauflösung freie Säure, so erschien die Vegetation rein kupferroth.

4) Ein Stück metallisches Eisen wurde mit einer dreifachen Lage thierischer Blase überzogen, die Enden derselben festgemacht, und das so überzogene Eisen in eine schwache Kupferlösung eingehängt. Nach einigen Tagen bildeten sich die schönsten metallisch festen, mannichfaltigsten Vegetationen von rein kupferrother Farbe, theils in Form von Rosetten und knospenförmig über einander sich ansetzenden Anhäufungen, theils in strauchartigen Verzweigungen. Die Blase war jedoch bloß stellenweise mit diesem figurirten Cämentkupfer bedeckt und zwar entstand die strauchartige Vegetation ganz besonders an den, viele Anlegepuncte darbietenden, mit Zwirn genäheten Stellen der Blase. Als Eisen, bloß mit einer doppelten Lage Blase überzogen, in Kupfervitriollösung gehängt ward, war die Vegetation minder fest; ganz locker aber, als das Eisen bloß mit einer einfachen Lage Blase überzogen war. Analoge Resultate wurden mit Zink erhalten.

### Unter Zwischenwirkung von Schiefer, Kork, Hollundermark.

5) Es wurden zwei ½ Zoll weite Glasröhren (unten) mit dünnen Blättchen von Dachschiefer verschlossen (durch Ankleben mit Siegellack) und in ein mit schwefelsaurer Kupferlösung gefülltes Cylinderglas so eingehangen,

*) Senkt man ihn bloß ½ bis 1 Zoll tief ein, so legt sich das Kupfer in loser, leicht zerfallender Dendritenform an; läßt man ihn dagegen 6 bis 8 Zoll tief eintauchen, so vertheilt sich das ausgeschiedene, aber feste Kupfer in einem dünnen Beschlag auf der ganzen eingetauchten Drahtfläche.

daß sie den Boden nicht berührten. In eine dieser Röhren *) wurde ein Stückchen Zink, in die andere ein Kupferstreifen gestellt, der mit dem Zink durch einen dünnen versilberten Kupferdraht verbunden war. Auch auf diesem Wege wurden feste Metallvegetationen erhalten; eben so, wenn statt des Dachschiefers zur Verschließung der beiden Röhren gesunde Korkscheibchen von etwa 1 Linie Dicke angewandt wurden; nur wuchs in beiden Fällen die Vegetation weit langsamer als in mit Blase verschlossenen Röhren; fast gleich der Blase aber wirkte ein dünnes Scheibchen zusammengepreßten Hollundermarkes.

Unter Zwischenwirkung eines feinen Sprunges.

6) Eine unten geschlossene, aber mit einem feinen Sprunge versehene, mit Salmiaklösung gefüllte, Glasröhre wurde in schwefelsaure Kupferlösung gesenkt. In die Salmiaklösung tauchte ein Zinkstäbchen, in die Kupferlösung ein Kupferdraht, der mit dem Zink in metallischer Verbindung stand. Auch hier fing eine feste Vegetation am Kupferdrahte an sich zu bilden; doch wuchs dieselbe überaus langsam.

Unter Zwischenwirkung einer Flüssigkeitsleitung.

7) Wenn man Zink und Kupfer durch eine Leitung von 80 Ellen dünnen Eisendrahtes, zur einfachen Kette verbunden, auf eine Kupferauflösung wirken ließ, gelang es nicht, das Kupfer in fester cohärenter Form niedergeschlagen zu erhalten; wohl dagegen, als eine Wasserleitung in folgender Art angewandt ward, die Schnelligkeit des Stromes zu verzögern.

In Fig. 3. sind 5 Stück Cylindergläser von 8 Zoll Höhe und 8 Zoll Durchmesser mit a bezeichnet neben einander stehend abgebildet; hiervon wurden 4 Stück mit einer Kupferlösung, das erste aber mit einer Auflösung von Salmiak in 32 Theilen Wasser angefüllt. In diese schwache Salmiaklösung stellte Wach einen Zinkdraht Z, der etwas länger als das Glas und von der Stärke eines Federkieles war, und an dessen aus der Flüssigkeit hervorragendem Theile ein so langer versilberter Kupferdraht K befestigt wurde, daß er vollkommen über die nebenstehenden, mit Kupferlösung gefüllten, Gläser hinreichte. An diesen Draht wurde nun über jeden Nebencylinder ein kurzes Stückchen desselben Drahtes angedreht, und durch ein in die Gläser gedrängt passendes Stückchen Holz durchgesteckt, so daß jeder einzelne von K ausgehende Draht c, c′, c″, c‴ gleich tief in die Kupferlösung hineinreichte. Durch heberförmig gebogene, ½ Zoll weite und mit Kupferlösung gefüllte Glasröhren d, wurden jetzt alle Glascylinder in leitende Verbindung gesetzt, so daß also der erste mit dem zweiten, der zweite mit dem dritten, der vierte mit dem fünften ꝛc. durch diese Heber d in Communication stand. So wurde diese Vorrichtung ruhig hingestellt und von Zeit zu Zeit beobachtet.

*) Unstreitig waren sie mit Wasser gefüllt. F.

Nach vielleicht 6 Stunden sammelten sich an den in der Kupferlösung befindlichen Drahtenden kleine Gasblasen, deren Menge jedoch mit der Entfernung von dem Cylinder, in welchem der Zinkdraht sich befand, im umgekehrten Verhältnisse stand, so daß also im zweiten Cylinder an c die Gasentwickelung am stärksten war, im fünften Cylinder dagegen an c‴ wurden nur einige wenige Gasblasen bemerkt. — Am Drahte c, welcher im zweiten Cylinder sich befand, legte sich das Kupfer schon ziemlich fest, obwohl nur als moosartige Vegetation von dunkelrother Farbe an. Im dritten Cylinder bedeckte sich der Draht c′ mit traubenartig vollkommen fester Vegetation von rein kupferrother Farbe; im vierten und fünften Cylinder entstand bloß ein krystallinischer Anflug von Kupfer.

Fällung verschiedener anderer Metalle in cohärenter Form.

Nach Göbel (Schweigg. Journ. LX. 414) gelingt die Abscheidung des Goldes in fester Form am besten mittelst eines Golddrahtes und Eisens; die des Platins mittelst Platindrahtes und Eisens; die des Silbers mittelst Silberdrahtes und Zinks; die des Kupfers mittelst Kupferdrahtes und Zinks. Das Silber schied sich zum Theil in dendritischer Form, zum Theil in tafelartigen festen Blechen ab; Gold und Platin mehr in warzenförmiger Gestalt, jedoch ohne deutliche Krystallform.

Wach erhielt folgende Resultate:

1) Antimon gab ganz ausgezeichnet schöne Vegetationen, wenn auf folgende Weise experimentirt ward. Eine halbe Drachme Chlorantimon (butyrum antimonii) wurde in 1 Unze destillirtes Wasser getröpfelt und dem dabei entstandenen Niederschlage so lange Salzsäure zugesetzt, bis sich derselbe wieder gelöst hatte *). In diese stark saure Flüssigkeit wurde eine unten mit Blase verschlossene Röhre gehangen und hierein ein starker Zinkdraht gestellt. Nach 6 Tagen hatte sich die ganze äußere Fläche der Blase mit einer rein metallisch glänzenden Vegetation bedeckt, die auf ihrer Fläche einzelne Erhöhungen hatte. Bei Wiederholung dieses Versuches wurden einigemale traubenförmige Vegetationen erhalten.

5) Wismuth (1 Drachme) wurde in verdünnter Salpetersäure aufgelöst und die Lösung mit (3 Unzen) destillirten Wassers vermischt. Das hierdurch ausgeschiedene basische Salz wurde wieder durch etwas Salpetersäure aufgelöst, übrigens wie im vorigen Versuche verfahren. — Nach sehr kurzer Zeit schied sich das Wismuth in metallisch festen halbkugeligen Gestalten aus, die sich immer mehr vermehrten, endlich gleichsam zusammenflossen und die ganze äußere Fläche der Blase bedeckten, so daß diese Vegetation auf ihrer Fläche eine Menge glänzender traubenförmiger Erhöhungen und matter Vertiefungen zeigte. Mit der Feile angestrichen war sie vollkommen metallisch fest, gleich einem im Feuer geschmolzenen Wismuth-

*) Wurde dem Niederschlage keine Salzsäure zugesetzt, so bildete sich nie eine feste Vegetation, sondern das Antimon wurde als loses schwammiges Pulver gefällt.

korne. Verbindet man mit dem bei vorigem Versuch in der Röhre stehenden Zinkdraht einen versilberten Kupferdraht und leitet diesen zwei Zoll tief in die Wismuthlösung: so entsteht auch hier eine schöne traubenförmige Vegetation in Keulenform, von vollkommen metallischem Zusammenhange.

3) Ein Theil Zinnsalz (chloretum stanni) wurde in sechs Theilen Wasser gelöst und die Lösung mit etwas Salzsäure angesäuert; im Übrigen wie bei Antimon verfahren. — Die Vegetation war schön; sie bedeckte die Blase mit den niedlichsten Verzweigungen, zwischen welchen etwa einen Zoll lange säbelförmige Gebilde hervorschossen, an denen sich wieder neue kreuzweis ansetzten. Der ganze Wuchs war zart, der metallische Zusammenhang jedoch groß genug, um die Vegetation außerhalb der Flüssigkeit fest zusammenzuhalten; die Farbe vollkommen zinnweiß. Diese Vegetation war ungemein schnell, nämlich in 15 Stunden, gewachsen, in welcher Zeit die Flüssigkeit in der Röhre über 2 Zoll gestiegen war.

4) Eine Drachme Silbersalpeter wurde in 2 Unzen Wasser gelöst und in die mit Blase verschlossene Röhre etwas Quecksilber als reducirendes Metall genommen. — Die Vegetation bestand aus sechsseitigen Säulen mit dreiflächiger Zuspitzung; öfters setzten sich ausgebildete Granatdodekaeder an den Säulen an. Diese Säulen waren ziemlich stark, vielleicht $\frac{3}{4}$ bis 1 Linie, und $\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ Zoll lang, übrigens rein silberglänzend.

4) Chlorplatin wurde mit 8 Theilen Wasser verdünnt und Zink in die durch Blase verschlossene Röhre als reducirendes Metall gebracht. Die Vegetation war fest und spießig von stahlgrauer Farbe.

### Übersicht der Reihenfolge, in der Metalle durch einander niedergeschlagen werden.

Fischer hat in einer eigenen Schrift (Das Verhältniß der chemischen Verwandtschaft zur galvanischen Elektricität. Berlin 1830.) nebst anderen Versuchen auch seine, größtentheils schon früher in Pogg. Ann. bekannt gemachten, sehr umfassenden Resultate über die Reduction der Metalle aus ihren Auflösungen durch einander zusammengestellt.

Indem wir hinsichtlich des Details derselben auf die Schrift oder Pogg. Ann. selbst verweisen, begnügen wir uns, die allgemeinsten Resultate, die er daraus zieht, hier anzuführen.

Die Metalle, d. h. die schweren Erzmetalle, von denen allein hier die Rede ist, bilden in Hinsicht der Reduction 4 Reihen, nämlich reducirbare und reducirende, nicht reducirbare und nicht reducirende.

1) Die reducirbaren, nach der abnehmenden Anzahl der sie reducirenden Metalle geordnet, bilden folgende Reihe:

1) Gold, 2) Platin, 3) Osmium, 4) Iridium, 5) Rhodium, 6) Palladium, 7) Silber, 8) Tellur, 9) Quecksilber, 10) Arsenik, 11) Antimon, 12) Kupfer, 13) Wismuth, 14) Blei, 15) Zinn, 16) Eisen, 17) Kadmium.

Diese Reihe ist jedoch keineswegs so regelmäßig, daß das folgende

Metall immer von einem Metall weniger, als das vorhergehende, reducirt werde, sondern es finden Gruppen von Metallen Statt, welche von einer gleichen Anzahl Metalle reducirt werden, wie z. B. außer Osmium alle übrigen 4 Platinmetalle rc. Noch weniger ist die Reihe dergestalt geordnet, daß immer das nachfolgende Metall das vorhergehende zu reduciren im Stande ist. Würden diese Metalle nach der Leichtigkeit und Vollständigkeit der Reduction geordnet, so würden sie folgende Reihe bilden:

Gold, Silber, Osmium, Palladium, Iridium, Platin, Rhodium, Quecksilber, Tellur, Kupfer, Antimon, Wismuth, Arsenik, Blei, Zinn, Kadmium und Eisen, indem das Silber weit leichter und vollständiger als die Platinmetalle, das Quecksilber als das Tellur, das Kupfer als Antimon, Wismuth und Arsenik rc. reducirt wird.

II. Die reducirenden, von welchen der größte Theil zugleich zur ersten Reihe gehört, nach der abnehmenden Anzahl der von ihnen reducirten Metalle geordnet, bilden folgende Reihe, bei welcher die eingeschlossene Zahl die Anzahl der durch sie reducirten Metalle anzeigt.

1) Zink (17), 2) Kadmium (15), 3) Eisen (15), 4) Zinn (14), 5) Blei (14). (Beide Metalle nehmen dieselbe Stelle ein, indem sie wechselseitig sich selbst, und eine gleiche Anzahl andere Metalle reduciren), 6) Kobalt (12), 7) Wismuth (11), 8) Kupfer (11), 9) Mangan (9), 10) Arsenik (9), 11) Antimon (9), 12) Nickel (9), 13) Uran (8), 14) Quecksilber (8), 15) Tellur (7), 16) Silber (5), 17) Palladium (3).

III. Zu den nicht reducirbaren gehören außer Arsenik alle übrigen Metalle, welche Säuren bilden, demnach 1) Titan, 2) Chrom, 3) Wolfram, 4) Molybdän, 5) Tantal, und höchst wahrscheinlich auch 6) Cerium. Außer diesen auch noch 7) Uran, 8) Kobalt, 9) Nickel, 10) Mangan und 11) Zink.

IV. Die nicht reducirenden Metalle zeigen dasselbe Verhältniß zu den nicht reducirbaren, wie die reducirenden zu den reducirbaren. Sie sind nämlich ebenfalls größtentheils dieselben, namentlich sind es alle die Metalle, welche Säuren bilden, Arsenik ausgenommen, dann Gold, Platin, Osmium, Iridium und Rhodium. Wenn ein Grund über das Verhalten der Metalle, welche Säuren bilden, angegeben werden soll, so dürfte er, außer in den Verhältnissen der Verwandtschaft, auch noch in der vorzüglichen Härte und sehr starken Cohäsion dieser Metalle zu finden sein, wodurch auch diese Metalle größtentheils der Einwirkung der Säuren widerstehen. Eben diesen Grund könnte man wohl auch beim Kobalt und Nickel für ihre Nichtreducirbarkeit angeben; daß sie hingegen mehrere Metalle reduciren, entspricht ganz ihrem Verhalten zu den Säuren, von welchen sie so leicht aufgelöst werden; daß aber Mangan und Zink reducirbar, und Gold, Platin rc. nicht reducirend sind, bedarf keiner besondern Erklärung.

In folgender Tabelle sind die reducirbaren Metalle und die sie reducirenden zu einer leichten Übersicht dargestellt. In der obersten horizontalen Linie sind die reducirbaren, und in den senkrechten die reducirenden in der angegebenen Ordnung aufgestellt, und wo die Linien zusammenstoßen, zeigt das positive oder negative Zeichen an, ob eine Reduction Statt findet oder nicht. Die Zahlen in der untersten horizontalen Linie geben an, von wie vielen Metallen das eine obenstehende reducirt wird, und die Zahlen in der letzten senkrechten, wie viele Metalle von den gegenüberstehenden Metallen reducirt werden.

Von nicht metallischen Körpern werden nur Gold, Silber, Osmium, Platin, Palladium, Tellur, Quecksilber und Kupfer reducirt.

Von den einfachen nicht metallischen Stoffen reducirt am meisten Phosphor.

Tabellarische Darstellung der Metalle, welche reduciren und reducirt werden.

| | 1 Gold. | 2 Os-mium. | 3 Iri-dium. | 4 Platin | 5 Palla-dium | 6 Rho-dium | 7 Silber | 8 Tellur | 9 Queck-silber | 10 Arse-nik | 11 Anti-mon | 12 Kupfer | 13 Wis-muth | 14 Blei | 15 Zinn | 16 Eisen | 17 Kad-mium | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 Zink | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 17 |
| 2 Kadmium | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | 15 |
| 3 Eisen | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | 15 |
| 4 Zinn | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | 14 |
| 5 Blei | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | + | — | — | 14 |
| 6 Kobalt | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | — | 13 |
| 7 Kupfer | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | 11 |
| 8 Wismuth | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | —+ | — | — | — | — | — | 11 |
| 9 Mangan | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — | 9 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 Nickel | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — | 9 |
| 11 Antimon | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — | 9 |
| 12 Arsenik | + | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — | 9 |
| 13 Quecksilber | + | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 8 |
| 14 Uran | + | + | + | + | + | + | + | — | + | — | — | — | — | — | — | — | — | 8 |
| 15 Tellur | + | + | + | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 7 |
| 16 Silber | + | + | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 5 |
| 17 Palladium | + | + | + | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3 |
| | 17 | 17 | 17 | 16 | 16 | 15 | 15 | 13 | 13 | 8 | 8 | 6 | 6 | 4 | 4 | 1 | 1 | |

Im Vorigen ist das Nickel als nicht reducirbar durch Eisen und das Eisen als nicht reducirbar durch Cadmium aufgeführt. Dies verhält sich so nach neueren Angaben von Fischer (in Pogg. Ann. XXII. 494); früher hatte derselbe Reduction hiebei beobachtet, die jedoch nach neueren Versuchen desselben nur von Unreinheit der angewandten Fällungsmittel herrührte. Die Nichtfällbarkeit vieler Metalle durch Mangan, welche im Vorigen angeführt ist, ist wahrscheinlich nicht richtig; denn Berzelius (Jahresber. X. S. 123) führt neuerdings an, daß bloß dem kieselhaltigen Mangan dies Unvermögen, die meisten Metalle zu fällen, zukomme. Da aber die Metalle, welche wirklich dadurch gefällt werden, nicht von Berzelius specificirt worden sind, so habe ich die vorstehenden Angaben vorläufig stehen lassen.

---

## VI. Elektrochemische Bewegungen.

---

### Elektrochemische Bewegungen des Quecksilbers in Berührung mit Salpetersäure und Eisen, von Runge *).

Die nachstehenden Erfahrungen von Runge schließen sich früheren von Erman, Herschel und Pfaff **) an, ermangeln jedoch eben so sehr noch als diese einer genügenden Erklärung.

Bringt man einen Tropfen Salpetersäure (aus gleichen Maßen Salpetersäure von gewöhnlicher Stärke und Wasser gemischt) auf eine Quecksilberfläche, so dehnt sich der Tropfen darauf aus und näßt die Fläche. Berührt man nun die Säure mit einem blanken Eisendraht, so verändert sie ihre Lage nicht, was aber in demselben Augenblicke geschieht, wenn man zugleich auch das Quecksilber mit dem Drahte berührt. Es verläßt nämlich in diesem Falle die Säure die Quecksilberfläche, worauf sie sich ausgebreitet hatte, und zieht sich mit großer Geschwindigkeit um den Eisendraht zusammen. Hebt man die Berührung auf, so breitet sich die Säure wieder aus, wie das erste Mal, und ein neues Berühren sammelt sie wieder um das Eisen. Man kann diesen Versuch sehr oft wiederholen. Zugleich bemerkt man in dem Augenblicke der Berührung eine Zuckung am Quecksilber.

Es ist bei diesem Versuche gleichgültig, ob das Eisen das Quecksilber durch die Säure hindurch berührt, oder ob man mit dem einen Ende eines gebogenen Drahtes die Säure, und mit dem andern das Quecksilber berührt.

*) Pogg. XV. 95.

**) Eine Zusammenstellung desselben s. in meinem Lehrbuche des Galvanismus S. 431.

Wendet man statt der Salpetersäure Salz- oder Schwefelsäure (in verschiedenen Verdünnungen) an, so findet die angegebene Erscheinung nicht Statt *). Die auf die Quecksilberfläche gebrachten Tropfen beider Säuren breiten sich nämlich nur sehr wenig aus, und Eisenberührung zieht sie auch nur kaum merklich zusammen. Auch zeigt sich am Quecksilber keine Zuckung.

Übergießt man ein Quantum Quecksilber von etwa 4 Linien Durchmesser mit Salpetersäure (von der oben angegebenen Verdünnung), so daß die Quecksilberfläche überall bedeckt ist, und berührt man nun das Quecksilber durch die Säure hindurch mit einem Eisendraht, so bemerkt man am Quecksilber eine sehr starke zitternde Bewegung, die sich auch als Oscillation dem berührenden Eisendrahte mittheilt, wenn man den Versuch in einem flachen Schälchen anstellt, und den etwas gebogenen Draht in der Mitte auf dem Rand des Schälchens, und mit seinem untern Ende auf dem Tische ruhen läßt, indeß das obere das Quecksilber berührt. In diesem Falle wird der balancirende Eisendraht von dem Quecksilber so hin- und hergeworfen, daß er wie ein Pendel schwingt. Auch hat der Verfasser nicht selten unter diesen Umständen ein förmliches Rotiren des Quecksilbers bemerkt.

Diese Bewegungen dauern eine ziemlich lange Zeit, während welcher das Eisen sehr von der Säure angegriffen wird. Endlich tritt unter fortgesetzter Eisenberührung Ruhe beim Quecksilber ein, aber statt dessen fängt nun die Flüssigkeit an, in eine heftige Strömung zu gerathen, die wirbelförmig über die Quecksilberfläche nach dem berührenden Eisendrahte hin Statt findet, so daß die vom Eisen entferntere Hälfte der Quecksilberfläche spiegelblank, die nähere dagegen mit einer Haut bedeckt erscheint, die bei Aufhebung der Berührung des Eisens sich wieder über die ganze Fläche verbreitet.

Auffallender und bemerklicher wird diese Strömung noch dadurch, daß sie mit dem Entstehen und Verschwinden einer grünlichbraunen Flüssigkeit (salpetersauren Eisenoxyduls mit Salpetergas) vergesellschaftet ist, die eigentlich den Hauptbestandtheil des in der Flüssigkeit Strömenden ausmacht, und im Anfange bei dem Oscilliren des Quecksilbers nur in geringer Menge zu bemerken ist. Diese grünlichbraune Flüssigkeit folgt überall dem Eisendraht, wo man auch das Quecksilber berühren mag.

Kadmium und Zink wirken nicht wie Eisen, wahrscheinlich weil sie sich zu schnell verzehren.

Auf folgende Weise hat der Verfasser den Versuch noch abgeändert: Füllt man eine Glasröhre von etwa 2 Linien Durchmesser im Lichten (die

*) Mit concentrirter Schwefelsäure zeigt sich indeß die Erscheinung in sehr ausgezeichnetem Grade, wie schon Erman, zwar nicht mittelst der einfachen Kette, wohl aber mit Hülfe der Säule beobachtet hat.

so gebogen ist, daß ihre Schenkel parallel gehen), zur Hälfte mit Quecksilber an, gießt in den Schenkel a Salpetersäure (von der oben angegebenen Stärke) und steckt in den Schenkel b einen Eisendraht bis in das Quecksilber hinein, und taucht nun einen andern Eisendraht in die Säure des Schenkels a (ohne daß er das Quecksilber berührt), so erfolgt nach und nach beim öfteren Schließen und Öffnen der Kette Folgendes:

1) Das Quecksilber fällt in dem Augenblicke der Schließung der Kette in dem Schenkel a um $\frac{1}{4}$ Linie, und steigt in b um eben so viel.
2) Es bilden sich nach einiger Zeit Gasblasen auf der Quecksilberfläche in a, die sich beim jedesmaligen Schließen und Trennen der Kette hin- und herbewegen.
3) Man bemerkt wiederum nach Verlauf einiger Zeit die Anhäufung der bereits erwähnten grünlichbraunen Eisenauflösung auf dem Quecksilber in a, die beim Schließen der Kette sich in die Höhe bewegt, oder gleichsam in die Höhe gestoßen wird.
4) Zuletzt hören alle erwähnten Erscheinungen auf, und zwar in dem Augenblicke, als das Eisen anfängt sich unter Gasentwickelung in der Salpetersäure aufzulösen. Auch verändert unter diesen Umständen das Quecksilber beim Schließen der Kette seine Stellung nicht mehr.

## Elektrochemische Bewegungen des Quecksilbers bei Berührung mit einer Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul und mit Zink *).

Die nachfolgenden, ebenfalls von Runge herrührenden, Beobachtungen schließen sich an die vorstehenden sehr nahe an.

Wenn man einen Tropfen Quecksilber, welcher sich unter verdünnter Salpetersäure befindet, mit einem Zinkstreifen berührt, so erfolgt nur Gasentwickelung und weiter nichts; namentlich bleibt das Quecksilber ganz ruhig. Anders dagegen sind die Erscheinungen, wenn statt der Salpetersäure eine klare gesättigte Auflösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul **) angewandt wird.

Berührt man nämlich ein Quecksilberkügelchen, das nicht größer ist als 1 bis $1\frac{1}{2}$ Linien im Durchmesser, während es sich unter der concentrirten Lösung des salpetersauren Quecksilberoxyduls befindet, mit einem Zinkstreifen, so geräth das Quecksilber in eine sehr heftige Bewegung, läuft mit großer Schnelligkeit am Zink hinauf, fällt wieder herunter und wiederholt dies so lange von Neuem, bis entweder das Zink

*) Pogg. XVI. [illegible]; XVII. 472.

**) Man bereitet sie nach dem Verfasser zu dem in Rede stehenden Zweck am besten durch kalte Digestion des Quecksilbers mit reiner Salpetersäure von [illegible] specifischem Gewicht, [illegible] mit 2 Maß Wasser verdünnt worden ist. Die Lösung darf nicht mehr freie Säure enthalten, als zur Lösung des Oxyduls in Wasser nothwendig ist.

verzehrt oder die Oxydullösung erschöpft ist. Zugleich findet in der Flüssigkeit eine von der Quecksilberfläche ausgehende Strömung Statt.

Noch auffallender zeigt sich die Bewegung, wenn man auf den unter der Lösung befindlichen Quecksilbertropfen Zinkstückchen, welche nicht größer als 1 Linie lang und ¼ Linien dick sind, bringt. Das Quecksilber geräth, so wie es das Zink genässt hat, in die heftigste zuckende Bewegung, in Folge deren es mit großer Gewalt hin und her geworfen wird, worauf sich bald eine *fortschreitende Bewegung* einstellt. Macht man nämlich den Versuch in einem runden Porzellanschälchen oder in einem sogenannten Tuschnäpfchen, dessen Mitte etwas erhöht ist, so *dreht sich das Quecksilber mit dem Zink im Kreise herum*, und zwar mit einer solchen Geschwindigkeit, daß es einen Kreis von ½ Zoll Durchmesser wenigstens 30 mal in der Minute beschreibt.

Wenn die Flüssigkeit bis auf einen bestimmten Grad zersetzt worden ist, so hört die Bewegung auf. Dies geschieht jedoch nicht nach und nach, sondern plötzlich und zugleich zeigt sich dann auf dem Quecksilber eine schwarze Haut. Weder frisches Aufgießen von Quecksilberoxydullösung, noch neu hinzugefügtes Quecksilber und Zink vermögen dann die Bewegung wieder hervorzurufen.

Andere Metalle sind ohne Wirkung, selbst Eisen, welches doch das Quecksilber unter verdünnter Salpetersäure in so starke Oscillation versetzt. Auch bewirkt nur Zink im *festen* Zustande die angezeigten Bewegungen, nicht aber in Quecksilber *gelöstes Zink* oder *Zinkamalgam*; *ja letzteres hebt sogar die Bewegung augenblicklich auf*. Ein (10 Pfund tragender) Magnet äußerte durchaus keine Einwirkung auf das rotirende Quecksilber.

Der Verfasser hat noch den verzögernden oder nicht verzögernden Einfluß, den Berührung des auf die angezeigte Weise in Rotation versetzten Quecksilbers mit verschiedenen anderen Metallen oder Amalgamen auf die Bewegung äußert, untersucht. Da jedoch diese Versuche, nach denen sich die verschiedenen Körper hiebei verschieden verhalten, kein allgemeines oder interessantes Resultat gewähren, so verweise ich hinsichtlich derselben auf die Originalabhandlung (Pogg. XVII. 473).

## Sechster Abschnitt.

### Lehre vom Magnetismus.

#### I. Über die Vertheilung des Magnetismus in Magnetstäben.

Christie*) hat untersucht, ob wohl, wenn in einem Magnetstabe, vermöge der besondern Art seiner Magnetisirung, anfangs eine unsymmetrische Vertheilung des Magnetismus Statt findet, diese sich mit der Zeit verliert und der Magnetismus von selbst eine symmetrische Vertheilung annimmt. Das Resultat der, mit 4 Stäben von weichem Stahl, von Mitte 1828 bis Ende 1830 fortgesetzten, Versuche war, daß zwar eine fortschreitende Annäherung an den symmetrischen Zustand wirklich im Ganzen Statt zu finden schien, diese jedoch (wie aus der unten folgenden Tabelle erhellt), so außerordentlich gering war, daß der Verfasser in Zweifel ist, ob nicht der Anschein derselben vielmehr durch zufällige, von der Anordnung des Apparates und vielleicht selbst einer Einwirkung der Prüfungsnadel auf den Magneten abhängige Umstände bedingt sei, als durch eine wirkliche Rückkehr, um so mehr, da einzelne Beobachtungen auch auf eine rückgängige Bewegung vom symmetrischen Zustande deuteten (doch haben die positiven Zeichen bei Weitem das übergewicht).

Nähere Beschreibung der Versuche. Der Verfasser wandte 4 Stahlstäbe, die nur etwas angelassen (softened), durch den Drahtzug auf gleiche Dicke gebracht und nachher nicht wieder gehärtet waren, an. Sie hatten sämmtlich 0,15 (engl.) Zoll in der Breite und 0,1 Zoll Dicke. Zwei derselben, die der Verfasser mit I. und II. bezeichnet, waren 8,91 Zoll, die beiden anderen, III. und IV., 5,94 Zoll lang. I. und II. wurden an einander gelegt und durch den Doppelstrich magnetisirt, und mit III. und IV. eben so verfahren, darauf die Vertheilung ihres Magnetismus dadurch gestört, daß mit dem Ende eines Magneten zweimal von ihrer Mitte nach ihren Enden gestrichen ward, endlich die Lage der magnetischen Mittel-

*) Journ. of the royal Instit. 1831. Nr. 2. p. 213.

puncte und magnetischen Pole in verschiedenen successiven Zeitperioden erfahren. Hiebei verfuhr der Verfasser folgendermaßen:

Behufs der Bestimmung der Lage des magnetischen Mittelpunctes in jedem Stabe legte er denselben auf eine rechteckige hölzerne Scale, so daß er parallel damit und gleich weit entfernt von beiden Seiten derselben war. Die Scale wurde so befestigt, daß sich die Axe des Stabes im magnetischen Meridian befand und sein Nordpol *) (south pole) nach Norden zeigte. Ein Compaß mit einer kleinen, 1 Zoll langen, Prüfungsnadel, war auf ein anderes, mit einem Vernier versehenes, rechtwinkliches Holzstück befestigt, welcher erlaubte, den, dem Mittelpuncte der Prüfungsnadel gegenüberliegenden, Punct des Magnetstabes bis auf $\frac{1}{100}$ Zoll zu bestimmen. Während nun die Seite des Rechteckes, welches die Prüfungsnadel trug, an der Seite der Scale anlag, wurde die erstere längs der letztern verschoben, bis die Lage der Prüfungsnadel genau umgekehrt war, d. h. bis ihr Nordende genau nach Süden zeigte. Der Punct des Stabes, welcher dem Mittelpuncte der Nadel in dieser Lage gegenüber lag, wurde als der Nullpunct oder das magnetische Centrum des Stabes angesehen. Der Abstand dieses Punctes vom Mittelpuncte der Figur des Stabes wurde dadurch bestimmt, daß die Nadel längs jeder Seite der Scale hin bewegt und ein Mittel aus beiden Abständen genommen wurde.

Um die Lage der Pole jedes Stabes zu bestimmen, wurde die Scale mit dem Stabe rechtwinklich auf den Meridian gelegt, so daß der Nordpol westwärts gekehrt war. Die Prüfungsnadel mit ihrem Vernier ward längs der Nordseite der Scale hingeführt, bis die Lage der Nadel genau umgekehrt war; und dann wieder, bis sie ihre natürliche Richtung annahm. Der Punct des Stabes, welcher im ersten Falle dem Mittelpuncte der Nadel gegenüber lag, wurde als der Südpol (north pole), und der im zweiten Falle gegenüberliegende als der Nordpol (south pol) des Stabes angesehen. Die Abstände der Pole vom Mittelpuncte der Figur des Stabes wurden auf ähnliche Weise, als vorhin für den magnetischen Mittelpunct angegeben, bestimmt.

Ich begnüge mich, von den, für alle 4 Stäbe angeführten Beobachtungen die für I., von 8,91 Zoll, und für III., von 5,91 Zoll anzuführen; die mit II. und IV., welche im Original ebenfalls angeführt sind, gaben analoge Resultate. (Das Zeichen + bedeutet Annäherung an den symmetrischen Zustand, das Zeichen — die entgegengesetzte Bewegung.).

*) Die Engländer nennen meines Wissens south pole das nach Norden zeigende Ende, was wir Nordpol nennen.

| Stab. | Datum der Beobachtung. | Abstand des Südpols vom Mittelpuncte der Figur. | Differenz zwischen zwei successiven Beobachtungen. | Abstand des magnetischen Nullpunctes vom Mittelpuncte der Figur. | Differenz zwischen zwei successiven Beobachtungen. | Abstand des Nordpols vom Mittelpuncte der Figur. | Differenz zwischen zwei successiven Beobachtungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Zoll | | Zoll | | Zoll | |
| I. | 1828 Juli 18. | 1,24 | | 2,17 | | 4,24 | |
| | — September 18. | 1,26 | + 0,02 | 2,165 | + 0,005 | 4,255 | + 0,005 |
| | — November 18. | 1,26 | 0,00 | 2,145 | + 0,02 | 4,255 | 0,00 |
| | 1829 Januar 18. | 1,27 | + 0,01 | 2,145 | 0,00 | 4,265 | — 0,01 |
| | — März 19. | 1,295 | + 0,025 | 2,14 | + 0,005 | 4,265 | 0,00 |
| | — Mai 20. | 1,305 | + 0,01 | 2,14 | 0,00 | 4,265 | 0,00 |
| | — Juli 20. | 1,32 | + 0,015 | 2,14 | 0,00 | 4,26 | + 0,005 |
| | 1830 Juni 3. | 1,355 | + 0,035 | 2,13 | + 0,01 | 4,26 | 0,00 |
| | — December 2. | 1,36 | + 0,005 | 2,11 | + 0,02 | 4,255 | + 0,005 |
| III. | 1828 Juli 18. | 0,77 | | 1,275 | | 2,90 | |
| | — September 18. | 0,775 | + 0,005 | 1,28 | — 0,005 | 2,90 | 0,00 |
| | — November 18. | 0,79 | + 0,015 | 1,27 | + 0,01 | 2,905 | — 0,05 |
| | 1829 Januar 18. | 0,79 | 0,00 | 1,265 | + 0,005 | 2,915 | — 0,01 |
| | — März 19. | 0,825 | + 0,035 | 1,26 | + 0,005 | 2,90 | + 0,015 |
| | — Mai 20. | 0,82 | — 0,005 | 1,26 | 0,00 | 2,905 | — 0,005 |
| | — Juli 20. | 0,85 | + 0,03 | 1,255 | 0,005 | 2,89 | + 0,015 |
| | 1830 Juni 3. | 0,84 | — 0,01 | 1,245 | + 0,01 | 2,89 | 0,00 |
| | — December 2. | 0,885 | + 0,045 | 1,22 | + 0,005 | 2,89 | 0,00 |

## II. Einfluß verschiedener Umstände auf die Erregung und Stärke des Magnetismus.

### Einfluß des Aggregatzustandes.

Moser und Rieß *) versichern, oft die Bemerkung zu machen Gelegenheit gehabt zu haben, daß das Eisen in Drahtform im Stande sei, eine stärkere magnetische Kraft so gut als der Stahl zu bewahren.

Dieselben haben beobachtet, daß das Eisen in der zertheilten Form, in welcher man es durch Reduction aus reinem Eisenoxyd mittelst Wasserstoffes erhält, weder fähig ist Magnetismus anzunehmen, noch für die tellurische Polarität empfänglich zu sein scheint (Pogg. XVII. 421).

### Einfluß des Oxydationszustandes.

Man hat daraus, daß Erze, welche das Eisen bloß im höchsten Oxydationszustande enthalten, des Magnetismus nicht fähig sind, geschlossen, daß die magnetischen Eigenschaften der Erze, welche Oxyd und Oxydul zugleich enthalten, vom Oxydul abhingen. Da jedoch nach der Erfahrung von Wöhler und Liebig (Pogg. XXI. 583) das weiße Eisenoxydulhydrat, welches durch Fällung eines Eisenoxydulsalzes mit Alkali erhalten wird, keine magnetischen Eigenschaften besitzt **), so scheint es vielmehr, als ob dem Eisenoxydul eben so wenig als dem Eisenoxyd diese Eigenschaften zukommen, und nur der Verbindungszustand beider sie mit sich bringt. Diese Annahme erhält noch mehr Gewicht dadurch, daß nach Rose (Pogg. V. 534) auch das dem Oxydul entsprechende Schwefeleisen (FS) nicht magnetisch ist, während der, als Verbindung dieser und einer höhern Schwefelungsstufe anzusehende, Magnetkies (6FS + FS²) diese Eigenschaft in bedeutendem Grade besitzt. Daß übrigens der Hydratzustand die magnetische Eigenschaft nicht verhindert, geht daraus hervor, daß, wenn man Eisenoxydo-Oxydulhydrat durch Fällung, z. B. aus einer Auflösung des Magneteisensteins in Salzsäure, darstellt (Pogg. XXI. 588), es gleich nach seiner Fällung, während es noch in der Flüssigkeit schwebt, so stark vom Magnet gezogen wird, daß, wenn man in dieselbe einen Magnetstab stellt, sich ein großer Theil des Niederschlags um ihn ansammelt und ihn gleichsam wie mit einem dicken Pelz umgiebt.

### Einfluß des Streichens mit harten Körpern.

Haldat ***) hat gefunden, daß Drähte von weichem, nicht angelassenen Eisen (er wählte sie von 1 Decimeter Länge, 1 Millimeter Durchmesser),

*) Pogg. XVII. 430.

**) Die schwarze Substanz, in welche sich dieser weiße Niederschlag beim Kochen mit der Flüssigkeit verwandelt, besitzt allerdings magnetische Eigenschaften; allein sie ist nicht, wie man angenommen hat, wasserfreies Oxydul, sondern Hydrat von Oxydo-Oxydul und entsteht nur unter Luftzutritt.

***) Ann. de Ch. et de Phys. XLII. 42.

die an sich unfähig sind, Magnetismus dadurch zu erlangen, daß man sie horizontal zwischen die entgegengesetzten Pole zweier starken Magnete (ihre Enden diesen Polen zugekehrt) legt, doch solchen erlangen, wenn man sie unter diesen Umständen mit irgend einem harten Körper, wie Messing, Kupfer, Zink, Glas, selbst hartem Holze streicht.

## Einfluß der Temperatur.

Ludwig Moser und Peter Rieß *) haben sehr genau den Einfluß untersucht, den die Temperaturerhöhung auf die Intensität der magnetischen Kraft hat, und hierdurch Gelegenheit gefunden, schärfere Bestimmungen über diesen Gegenstand zu geben, als man nach den bisherigen Untersuchungen darüber gehabt hat. Sie tadeln bei dieser Gelegenheit das, von Kupffer bei ähnlichen Untersuchungen angewandte, Verfahren, Magnetstäbe in Wasser zu erhitzen und ihre Wirkung auf darüber oscillirende Nadeln zu untersuchen (Biot IV. 64 Anm.), insofern nämlich in diesem Falle die Schwingungen weder isochronisch sind, noch nach irgend einer bekannten Formel reducirt werden können, und weisen das theilweis Unübereinstimmende von Kupffer's Resultaten nach.

Wenn man die Wirkung der Wärme auf magnetische Körper in Betracht ziehen will, so hat man wohl den bleibenden Verlust, den sie durch wiederholte Erwärmung erfahren, zu unterscheiden von dem vorübergehenden. Eine der Wärme früher noch nicht ausgesetzte Magnetnadel wird nämlich, wenn man sie nun erwärmt, nach dem Erkalten (zum vorigen Grade) nicht wieder dieselbe Intensität, die sie vor der Erwärmung bei diesem Grade besaß, zeigen, sondern einen bleibenden Verlust erlitten haben; dieser Verlust wird bei wiederholter Erwärmung und jedesmaligem Erkalten zunehmen, doch wird die Zunahme des Verlustes sich mindern, je öfter man die Erwärmung wiederholt hat, so daß zuletzt die Nadel auf einen merklich stablen Zustand kommt, von wo an eine öfter wiederholte Erwärmung keine weitere bleibende Schwächung mehr hervorbringt, d. h. die Nadel wird von jetzt an nach jedesmaliger Erwärmung beim Erkalten auf denselben Temperaturgrad auch wieder zu demselben Intensitätsgrade zurückkehren, vorausgesetzt, daß die neue Erwärmung nicht über den Grad hinaus geschah, bis zu welchem die früheren Erwärmungen geschahen.

Ist nun die Nadel in einem solchen stablen Zustande, so tritt die vorübergehende, d. h. mit der Erwärmung eintretende, aber eben so wieder mit ihr verschwindende Wirkung der Wärme rein für sich hervor, und man muß diesen vorübergehenden Einfluß daher auch nur an Nadeln, die durch wiederholte Erwärmungen schon auf einen solchen stablen Zustand

*) Pogg. XVII. 403. Die Mittheilung der obigen so sorgfältigen und fruchtbaren Untersuchungen macht die Anführung der sehr oberflächlichen von Matteucci über diesen Gegenstand, welche sich in der Bibl. univ. 1831. Août 377 finden, ganz überflüssig; doch wollen wir einen Versuch desselben zum Schluß mittheilen.

gebracht sind, untersuchen. Dieser Einfluß ist der Art, daß die magnetische Kraft im geraden Verhältniß der Temperaturzunahme sinkt, wie weiterhin erörtert werden wird.

Blos hinsichtlich des vorübergehenden Einflusses der Wärme verhält sich harter und weicher Stahl, so wie Eisen, gleich; in Bezug zur bleibenden Schwächung aber zeigen diese verschiedenen Arten der Träger des Magnetismus ein verschiedenes Verhalten, wie dies ebenfalls aus dem Folgenden näher erhellen wird.

Zu den nachfolgenden Untersuchungen wurden stets cylindrische Nadeln aus einer und derselben Sorte englischen weichen gegossenen und durch den Drahtzug gezogenen Stahls, der in seinem Bruche durchaus gleichförmig und feinkörnig war, angewandt. Ihre Länge war, wo nichts Besonderes bemerkt, stets 2 Pariser Zoll. Die Oscillationen der Nadeln wurden stets von 30° Elongation an gezählt und keine weitere Correction dafür angebracht. Alle Versuche sind innerhalb der Temperatur zwischen Siede- und Frostpunct enthalten. Die Versuche über den **bleibenden** Verlust wurden namentlich so angestellt, daß die Nadeln in kochendes Wasser getaucht, dann wieder erkalten gelassen wurden. Nach dem Erkalten ward der Verlust an magnetischer Kraft durch die Schwingungszeit der Nadel geprüft. Das Eintauchen und Erkaltenlassen ward so oft wiederholt, bis kein weiterer Verlust mehr bemerklich war, d. h. bis sich die Schwingungszeit nicht mehr änderte. Zu Versuchen über den **vorübergehenden** Einfluß der Wärme dienten die Schwingungen der Nadeln in einem gläsernen Gefäße, welches in einem größern mit dem zu erwärmenden Wasser gefüllten enthalten war, mit den zur Beobachtung der Temperatur und Oscillationen erfoderlichen Nebenvorrichtungen.

### I. Über den bleibenden Verlust des Magnetismus durch Wärme.

1) **Weiche Stahlnadeln können durch wiederholtes Eintauchen in siedendes Wasser und jedesmal darauf folgendes Erkaltenlassen** immer mehr (bis zu gewissen Gränzen) in ihrer magnetischen Kraft geschwächt werden. So hatte eine Nadel von 0,67 Linien Durchmesser. Ihre anfängliche Schwingungszeit 243,2 Secunden zu 30 Oscillationen nach sechsmaligem Eintauchen in 260,8 Secunden verändert.

2) **Diese Schwächung geht jedoch nicht bis über eine gewisse Gränze; sie ist verhältnißmäßig größer durch die ersteren als die späteren Eintauchungen, und nimmt nach einer größern Anzahl Eintauchungen nicht weiter zu.**

So brauchte die unter 1) erwähnte Nadel zu 30 Oscillationen

| | |
|---|---|
| vor dem Eintauchen . . . . | 243,"2 |
| nach dem ersten Eintauchen . | 255, 6 |
| — — zweiten — . . | 257, 8 |
| — — dritten — . . | 258, 8 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| nach dem vierten | Eintauchen | . | 259, 6 |
| — — fünften | — | . | 260, 2 |
| — — sechsten | — | . | 260, 8 |

Durch ein weiteres Eintauchen veränderte sich die zuletzt beobachtete Schwingungszeit nicht mehr.

3) Die Wirkung der Wärme ist instantan. In der That war selbst ein Stunden lang erhaltener Siedepunct nicht im Stande, den Magnetismus stärker zu afficiren, als ein kurzes Eintauchen, noch konnte er dem successiven Eintauchen (mit dazwischenfallendem Wiedererkalten) als Äquivalent substituirt werden.

4) Die Art der Erkaltung der Nadel ist auf das Endresultat, was sich durch wiederholtes Eintauchen erreichen läßt, ohne Einfluß.

In der That, mochten die Verfasser die Nadel gleich nach ihrer Erwärmung in der Luft oder langsam mit dem erhitzten Wasser selbst erkalten lassen oder sie ihrer Wärme durch Eintauchen in kaltes Wasser augenblicklich berauben, es konnte keine Veränderung in dem Endzustande hervorgebracht werden, welchen die Nadel durch das wiederholte Eintauchen angenommen hatte.

5) Die schwächende Wirkung des siedenden Wassers hängt nicht von einer oxydirenden Einwirkung auf die Oberfläche der Nadel ab, sondern ist in der That eine Wirkung der Wärme. In der That blieben sich die Resultate merklich gleich, mochte die Nadel mit Firniß überzogen werden oder nicht.

6) Der Verhältnißtheil, um welchen der Magnetismus einer Nadel geschwächt wird, wenn man sie durch wiederholtes Eintauchen zu einem constanten Zustande bringt, und welchen wir der Kürze halber a nennen wollen *), steht bei cylindrischen Nadeln von weichem Stahl von 2 Pariser Zoll Länge in merklich einfachem Verhältnisse des Durchmessers der Nadel, so lange dieser nicht 1,16 Linie überschreitet. Bei größerm Durchmesser jedoch nimmt der Werth von a in geringerm Verhältnisse zu als die Dicke der Nadel. Dies lehrt folgende Tabelle:

*) Ist J die ursprüngliche Intensität, so wird mit J (1 — a) diejenige bezeichnet, die nach Erreichung des constanten Zustandes eingetreten ist.

Tabelle über die constanten Verluste des Magnetismus in Nadeln von weichem Stahl, von verschiedenen Durchmessern durch die Temperatur von 80° R.

| Nadel. | Durchmesser in Pariser Linien. | Dauer einer Anzahl von Oscillationen | | Factor der Intensität oder 1 — a. | Factor für den Durchmesser = 1 Pariser Linie. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | vorher | nachher | | |
| 1 | 0''',66 | 269''',4 | 286 | 1 — 0,112715 | 1 — 0,1708 |
| 2 | 0 ,73 | 320 | 342,6 | 1 — 0,12758 | 1 — 0,1747 |
| 3 | 0 ,86 | 332 | 360 | 1 — 0,14951 | 1 — 0,1738 |
| 4 | 1 ,1 | 338 | 374,8 | 1 — 0,18673 | 1 — 0,1697 |
| 5 | 1 ,16 | 348 | 388,2 | 1 — 0,196385 | 1 — 0,1693 |
| 6 | 1 ,77 | 320 ,4 | 368,6 | 1 — 0,2443 | 1 — 0,1381 |

Die Temperatur des Zimmers war 8° R. Zu bemerken ist, daß auch andere Nadeln von derselben Stärke als Nr. 6. sich wie diese verhielten, indem keine derselben einen so großen Werth von a gab, als man aus dem Gesetze der Proportionalität, wenn es sich bis auf diesen Durchmesser erstreckte, hätte erwarten müssen.

7) Die Vergrößerung von a bei zunehmendem Durchmesser der Nadeln hängt nicht von vergrößerter Masse, sondern von vergrößerter Oberfläche der Nadeln ab.

Dies lehrt folgender Versuch. Es wurden zwei sonst gleiche Nadeln von weichem Stahl angewandt, von denen die eine aber der Länge nach durchbohrt war und mithin eine äußere und innere Oberfläche darbot, und gleichmäßig durch Eintauchen in siedendes Wasser behandelt. Der Durchmesser beider Nadeln war 1,22 Linie und ihre Länge 2 Zoll. Die durchbohrte machte anfänglich 100 Oscillationen in 262 Secunden, nach dem 20sten Eintauchen in 312,8 Secunden, woraus sich a findet 0,29843; die solide Nadel machte erst 80 Oscillationen in 349,2 Secunden, nach dem 20sten Eintauchen in 379,4 Secunden, woraus sich a findet 0,152865.

8) Bei längeren Nadeln ist der Werth von a kleiner als bei kürzeren, doch scheint es als ob, wenn die Länge über gewisse Gränzen geht, der Verlust dann nicht weiter abnimmt.

Es wurden statt der bisherigen Nadeln aus weichem Stahl von 2 Zoll Länge deren zwei von 4 Zoll Länge angewandt. Die eine dieser Nadeln hatte 0,67 Linien im Durchmesser und brauchte 371,2 Secunden zu 80 Oscillationen. Diese Zeit kam nach mehrmaligem Eintauchen auf 387,6 Secunden, wodurch sich der Werth von a zu 0,08284 ergiebt, während er für eine dergleichen Nadel von 2 Zoll Länge 0,113 war. Die andere Nadel hatte 1,1 Linie im Durchmesser, und die Zeit von 60 Oscillationen wurde

von 367,2 Secunden auf 392 Secunden durch die Wärme von 80° R. gebracht, woraus a = 0,12253, welcher Werth wiederum gegen den, welchen die kleineren Nadeln von gleichem Durchmesser gaben (S. 39), im Verhältnisse von 3 : 4 zu klein ist. Von beiden Nadeln wurde nun ¼ ihrer Länge abgeschnitten, so daß ihre Länge jetzt 3 Zoll betrug. Nachdem sie beide von Neuem magnetisirt worden, fanden sich die Werthe von a den eben angeführten beinahe gleich, und nur um eine Größe verschieden, die auf Rechnung des Beobachtungsfehlers zu setzen ist.

Um diese Untersuchung zu vervollständigen, wurde beiden Nadeln an Länge 1 Zoll abgenommen, so daß sie nun den früheren, in der Tabelle aufgeführten, gleich waren. Hier fanden sich die Verluste auch so groß, als sie nach der Tabelle zu erwarten waren, namentlich fand sich für die erstere Nadel, deren Durchmesser 0''',67, a = 0,11705, für die zweite a = 0,18401.

9) Die bisher angeführten Resultate sind unabhängig davon, ob die Nadeln zur Sättigung magnetisirt sind oder nicht. Mindestens führten die Verfasser an, daß sich die Resultate bei Nadeln, die in den verschiedensten Intensitätsgraden magnetisirt waren, gleich geblieben.

10) Bei gehärteten Nadeln ist der Werth von a größer als bei weichen, wird aber erst bei öfter wiederholtem Eintauchen erreicht.

Eine Nadel von 1,22 Linie Durchmesser, die schon zu früheren Versuchen gebraucht worden war, wurde so sehr, als Feuer und Wasser es vermögen, gehärtet und, ohne polirt zu werden, gestrichen, hierauf einige Tage untersucht, um den Schwankungen zu entgehen, denen die Intensität, besonders im harten Stahl, anfangs unterworfen ist. Diese Nadel brauchte

| | |
|---|---|
| zu 80 Oscillationen | 401'',6 |
| nach dem ersten Eintauchen | 451 ,2 |
| — — zehnten | 495 ,2 |

Von hier ab verlor sie bei jedem Eintauchen nur wenig, kam aber erst nach dem 50sten Mal zu einem sicheren stabilen Zustand, und brauchte dabei zu 80 Oscillationen 576'',8, so daß a = 0,51523. Ein ähnliches Resultat fand sich bei einer Nadel 1''',77 im Durchmesser, die durch 40maliges Eintauchen von 429'',6 auf 554'',4 kam, woraus a = 0,39954. Dieser geringere Werth von a, bei einer größeren Oberfläche, rührt offenbar davon her, daß die letztere Nadel nicht stark genug gehärtet war.

Es muß übrigens in Betracht genommen werden, daß so große Werthe von a, als bei diesen Versuchen erhalten wurden, sich bloß dann ergaben, wenn die Nadeln noch keine Bearbeitung der Art erfahren hatten, bei welcher sie einer starken Wärmeentwickelung ausgesetzt werden, wie z. B. dem Poliren, indem hierdurch schon ein vorgängiger Verlust bewirkt werden kann, der dann dem Werthe von a, welcher durch die Eintauchungsversuche gefunden wird, abgeht. Dies gilt sowohl für gehärtete als für

weiche Nadeln. In Bezug auf letztere führen die Verfasser folgendes Beispiel an:

Eine weiche Stahlnadel von 0,73 Linien Durchmesser, deren Verlust an Intensität durch den Siedegrad des Wassers wir kennen (S. 39), machte ursprünglich 80 Oscillationen in 205,8 Secunden. Auf einer rauhen Oberfläche stark gerieben kam die Oscillationsdauer auf 238,6 Secunden, nach mehrmaligem Eintauchen aber bleibend auf 244 Secunden. Der ganze Werth von a war hiernach 0,28855 *), während auf Rechnung des Eintauchens hier nur noch ein Werth von a = 0,04377 kommt. Nach S. 39 hatte er sich durch Eintauchungsversuche = 0,12758 für Nadeln gefunden, die nicht vorher gerieben worden waren.

11) Weiche Stahlnadeln, wenn sie durch Eintauchungsversuche auf den constanten Zustand reducirt werden, zeigen hiebei in der erhöheten Temperatur eine geringere Intensität als nach dem vollständigen Erkalten, oder die Schwächung beträgt mehr in der Wärme, als nach dem Erkalten; bei den gehärteten Nadeln dagegen ist das Umgekehrte der Fall, indem ihr Verlust mit dem Erkalten zunimmt **).

Letzteres erkannten die Verfasser nicht nur bei zwei nach einander folgenden Beobachtungen der Oscillationsdauer, sondern auch schon während einer und derselben deutlich genug. Da sie nämlich, selbst bei einer großen Anzahl von Schwingungen, stets die Zeit bei jeder 20sten bestimmten, so ließ sich aus der oft um 0,4 Secunde längern Dauer der letzten 20 Oscillationen ersehen, daß eine Verminderung der Intensität schon während der Beobachtung eingetreten war, was auch spätere directe Untersuchungen bestätigten.

12) So oft auch eine weiche Stahlnadel zum stabilen Zustande gegen den Einfluß eines gewissen Wärmegrades gebracht worden, so wird der Werth von a nach einer neuen Magnetisirung sich den früheren gleich ergeben. In gehärteten Nadeln ist dies nicht der Fall; der Verlust nach einem zweiten Streichen ist um vieles geringer als der erste, und sinkt so nach und nach zu einer verschwindenden Größe herab.

Eine Nadel von 0‴,73 Linien im Durchmesser und stark gehärtet, brauchte zu 100 Oscillationen 253,"6

nach 45maligem Eintauchen 339 ,2

Hier war der stabile Zustand eingetreten, also mit einem Werth von a =

*) Er ist größer als durch Eintauchungsversuche, weil das Reiben unstreitig eine größere Wärme als von 80° R. entwickelte.

**) Wohl verstanden gilt dies nur von dem bleibenden Verluste, den gehärtete Nadeln, die noch nicht auf ihren constanten Zustand reducirt sind, erfahren, dagegen solche, bei denen dies der Fall ist, ebenfalls mit Temperaturerhöhung eine Schwächung erfahren werden, die jedoch mit dieser vorübergeht.

0,44103. Nach der zweiten Magnetisirung brauchte dieselbe Nadel zu 100 Oscillationen 308″,8, kam nach 10maligem Eintauchen auf 318,6, woraus a = 0,06057. Nachdem sie zum dritten Male gestrichen und sechs Mal eingetaucht worden, ergab sich a = 0,04395, und wurde nach einer wiederholten Magnetisirung = 0 gefunden. Andere Versuche führten zu analogen Ergebnissen.

13) Wenn eine Nadel einen gewissen Verlust durch ein einmaliges Eintauchen bei 80° R. erfahren hat, so kann sie einen neuen Verlust bei einem abermaligen Eintauchen auch dann erfahren, wenn es unter 80° R. geschieht.

So kam eine gehärtete Nadel von 1,22 Linien Durchmesser durch einmaliges Eintauchen bei 80° R. von 330,8 Secunden auf 355,4 Secunden, und hierauf durch eins bei 40° R. auf 358,8 Secunden.

14) Das reine Eisen erfährt einen sehr geringen oder gar keinen bleibenden Verlust durch die Wärme des siedenden Wassers.

So kam eine Eisennadel von 1,01 Linie Durchmesser nach 10maligem Eintauchen von 335,4 Secunden auf 337,2 Secunden, eine andere von demselben Durchmesser von 232 Secunden auf 233,4 Secunden. Die Verfasser sind geneigt, diese noch Statt findende geringe Schwächung, welche beobachtet ward, von einem Gehalte an fremden Bestandtheilen, namentlich Kohle, abzuleiten, wovon das Eisen nicht leicht ganz rein ist, und wodurch es sich schon dem Stahl etwas nähert. Dieses Umstandes halber verloren auch einige Eisennadeln noch etwas mehr, als die vorigen. So kam eine Eisennadel nach mehrmaligem Eintauchen von 360,8 Secunden auf 380,4 Secunden.

15) Eine angelassene Nadel, mag sie vorher gehärtet sein oder nicht, mag sie blau oder roth angelassen sein, verhält sich ganz wie eine weiche Stahlnadel, sowohl in der absoluten Größe des Verlustes, als in dem Verhältniß der Intensität während der Erhitzung zu der nach dem Erkalten (alle angelassenen Nadeln nahmen wie die weichen beim Erkalten an magnetischer Kraft zu), als auch drittens in dem gleichmäßigen Verluste, der bei einer neuen Magnetisirung, sie mag im Sinne der frühern oder ihr entgegengesetzt sein, durch die Wärme hervorgebracht wird.

Es wurden aus einem Stück weichen cylindrischen Stahldrahtes, von 0,85 Linien im Durchmesser, fünf Nadeln von 2 Zoll Länge gemacht. Die eine ward in diesem Zustande gelassen, eine zweite ward, ohne gehärtet zu werden, blau angelassen, die drei übrigen wurden gehärtet, dann die eine kirschroth, die andere blau angelassen, die letzte aber blieb gehärtet und nur sie wurde etwas polirt. Sie wurden sämmtlich auf gleiche Weise magnetisirt. In folgender Tabelle ist die Zeit zu 100 Oscillationen angegeben, welche jede dieser Nadeln nach successiver Erwärmung und Wieder-

erkaltung bei beistehenden Temperaturgraden brauchte. Bei A ist die anfängliche Oscillationszeit bei gewöhnlicher Temperatur, welche allem Eintauchen vorherging, bei e die Zeit, welche nach wiederholtem Eintauchen constant blieb, angegeben.

| Nadel I. weich. | | Nadel II. weich, blau angelassen. | | Nadel III. gehärtet, kirschroth angelassen. | | Nadel IV. gehärtet, blau angelassen. | | Nadel V. gehärtet, nicht angelassen, etwas polirt. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 282″,2 | A | 267″,6 | A | 235″,6 | A | 303″,2 | A | 282,″4 |
| 71° | 295 ,8 | 70° | 276 | 72° | 246 | 72° | 315 | 72° | 301, 6 |
| 6½ | 292 | 7½ | 272 ,8 | 10 | 242 | 7 | 311 ,4 | 19 | 302, 6 |
| 73 | 297 | 72½ | 280 ,2 | 72 | 250 ,2 | 71½ | 320 ,2 | 67 | 304 |
| 7 | 293 ,4 | 6 | 277 | 8 | 247 | 8 | 316 ,6 | 7 | 306, 2 |
| 72 | 298 | 70 | 282 ,4 | 70 | 252 ,8 | 72 | 323 | 71 | 307, 6 |
| 8 | 295 ,2 | 7 | 278 ,8 | 7 | 249 ,8 | 7½ | 318 ,4 | 8 | 308, 8 |
| e | 303 ,6 | e | 287 ,6 | e | 253 ,6 | e | 325 ,6 | e | 323″,2 |
| a = 1,36006 | | a = 0,134246 | | a = 0,13692 | | a = 0,13286 | | a = 0,23654 | |

Als die Nadel III. nach dem Schlusse des Versuches von Neuem magnetisirt und der Versuch dann wiederholt wurde, ergab sich a = 13074, welches, wie man sieht, mit 0,13692 merklich übereinkommt, bei Nadel V. dagegen ward nach solcher Wiederholung der Werth von a bloß = 0,085545 gefunden.

II. Über den vorübergehenden Verlust durch die Wärme.

Die nachfolgenden Resultate gelten für Nadeln, die innerhalb der Temperatur, der sie ausgesetzt werden, schon ihren vollen constanten Wärmeverlust erfahren haben.

1) Der Werth von a, wenn wir hiemit den Verhältnißtheil bezeichnen, um welchen die Intensität der Nadel bei Erwärmung bis zu einer gewissen Temperatur geschwächt wird, ist der Temperaturerhöhung zwischen 0° und 80° direct proportional.

Eine hohle weiche Stahlnadel von 2 Zoll Länge, bei welcher die Summe der Durchmesser = 3,66 Linien war, brauchte zu

| | | |
|---|---|---|
| 30 Oscillationen bei | 12° R. . . . . . | 352″ |
| | 69° — 65° . . . | 369,6 |
| | 60° — 55° . . . | 366 |
| | 50° — 46° . . . | 363,2 |
| | 40° — 38° . . . | 360,8 |

Vergleicht man diese Zeiten mit der Oscillationsdauer bei 12°, so findet sich: für eine Temperaturdifferenz

| | a = | | a = |
|---|---|---|---|
| von 55° | 0,09297 | von 1° R. | 0,001690 |
| 45 | 0,07504 | — — — | 0,001667 |
| 36 | 0,060725 | — — — | 0,001686 |
| 27 | 0,04819 | — — — | 0,001785 |
| | | Mittelwerth | 0,001707 |

Reducirt man den Werth a = 0,001707 nach dem Gesetze des folgenden Satzes auf eine solide Nadel von 1 Linie Durchmesser, so ergiebt sich a = 0,0004663.

Die Verfasser ließen auch die zu diesen Versuchen gebrauchte hohle Nadel in einer Temperatur von 0° schwingen, die durch Eis erhalten wurde. Sie brauchte 348″,2 zu 80 Oscillationen, welches, mit der Schwingungszeit bei 12° R. verglichen, für 1° R. Temperaturdifferenz a = 0,001829 giebt. Den Unterschied dieses Werthes von dem obigen 0,001707 halten die Verfasser für klein genug, um der vorausgesetzten Proportionalität keinen Eintrag zu thun.

2) **Der Werth von a ist dem Durchmesser cylindrischer solider Nadeln, oder der Summe des innern und äußern Durchmessers hohler Nadeln proportional und zwar innerhalb weiterer Gränzen, als für den constanten Verlust.**

In der That fand sich hier die Proportionalität bei zweizölligen Nadeln innerhalb der Gränzen von 0,85 Linien und 3,66 Linien, bei Nadeln von 2 Zoll 10 Linien innerhalb der Gränzen 0,67 Linien und 1,16 Linie noch bestätigt. Vielleicht reichte sie noch weiter, allein es sind keine Versuche in weiteren Gränzen angeführt.

Folgende Resultate dienen zum Belege, wobei a überall auf die Temperaturdifferenz von 1° R. und den Durchmesser einer soliden Nadel = 1 Linie reducirt ist.

**Zweizöllige weiche Stahlnadeln.**

| | a |
|---|---|
| Solide Nadel von 0,85 Linien Durchmesser . . . . . | 0,0004588 |
| Solide Nadel von 1 Linie Durchmesser . . . . . | 0,0004524 |
| Hohle Nadel von 1,23 Linie äußerm, 0,889 Linien innerm Durchmesser, = einer soliden Nadel von 2,12 Lin. Durchmesser . . . . . . . . | 0,0004408 |
| Hohle Nadel, wo die Summe der Durchmesser = 3,66 Linien . . . . . . . . . . . . . . | 0,0004663 |

**Gehärtete und angelassene solide Stahlnadeln von 2 Zoll 10 Linien Länge.**

| | a |
|---|---|
| Nadel von 0,67 Linien Durchmesser . . . | 0,0003286 |
| — — 0,93 — — . . . . | 0,0003202 |
| — — 0,93 — — . . . . | 0,0003158 |
| — — 1,16 — — . . . . | 0,0003240 |

3) Die Größe von a nimmt mit der Länge der Nadeln ab.

In der That, während sich für 1° Temperaturdifferenz a = 0,000461 für eine Nadel von 2 Zoll Länge ergab, fand sich dieser Werth = 0,000324 bei einer gleichdicken Nadel von 2 Zoll 10 Linien. Das Verhältniß des geringern Einflusses ist hier dasselbe als bei der dauernden Wirkung, nämlich wie 3 : 4.

4) Die absolute Größe von a ist gleich für Nadeln von weichem Stahl, von hartem Stahl und von Eisen. Sie beträgt für solide cylindrische Nadeln von 1 Pariser Linie Durchmesser und 2 Zoll Länge auf 1° R. Temperaturdifferenz 0,000461, für eben solche Nadeln von 2 Zoll 10 Linien Länge aber 0,000324.

Die Werthe 0,000461 und 0,000324 sind Mittelwerthe aus mehreren Versuchen, wovon die Resultate zum Theil S. 44 angeführt sind.

Für eine gehärtete Stahlnadel von 2 Zoll Länge ergab sich unter denselben Umständen, als auf S. 44 für eine weiche, a = 0,0004619, und eben so nahe kam der dort gefundene Werth von a den Werthen, die für gehärtete und nachher angelassene Nadeln gefunden wurden. Desgleichen bei einer Eisennadel ergab sich a = 0,0004528, bei einer andern 0,0004414.

## Correction der magnetischen Intensitätsbeobachtungen wegen der Temperatur *).

Aus den angeführten Versuchen von Moser und Rieß ergiebt sich folgende Correction, um magnetische Intensitätsbeobachtungen auf eine gewisse Temperatur zurückzuführen. Sie ist gleich für Nadeln von hartem Stahl, weichem Stahl und selbst von Eisen, gilt aber nur für solche Nadeln, die durch wiederholtes Erwärmen (Eintauchen in siedendes Wasser) und Erkaltenlassen so weit gebracht sind, daß sie innerhalb der Temperaturänderungen der Beobachtungen keinen bleibenden Verlust mehr durch die Wärme erfahren.

$$J' = J\,[1 - 0{,}000461\,(t' - t)\,d]$$

Diese Formel gilt für Nadeln von 2 Pariser Zoll Länge. J' und J sind die Intensitäten respectiv bei den Temperaturen t' und t in Réaumur'schen Graden und d der Durchmesser der Nadel in Pariser Linien **).

Ist die Länge der Nadel 2 Zoll 10 Linien, so gilt statt der vorigen Formel folgende:

$$J' = J\,[1 - 0{,}000324\,(t' - t)\,d]$$

Will man aus diesen Ausdrücken Correctionsformeln für die Oscilla-

*) Pogg. XVII. 434.

**) Directe Versuche beweisen die Gültigkeit der Formel bloß bis zu d = 1,66 Linien; ob sie für größere Dicken gültig ist, ist noch auszumitteln.

tionsdauer entnehmen, und bezeichnet diese letztere mit T bei der Temperatur t, mit T′ bei der Temperatur t′, so ergeben sie hinreichend genau:

$$T = T' [1 - 0{,}0002505 \, (t' - t) \, d]$$

$$T = T' [1 - 0{,}000162 \, (t' - t) \, d]$$

Aus einigen zu diesem Zwecke angestellten, jedoch nicht angeführten, Versuchen glauben die Verfasser übrigens schließen zu können, daß für noch größere Längen als 2 Zoll 10 Linien die zweite Formel nur eine sehr unbedeutende Veränderung erleiden wird, so wie, daß für kleinere Längen als 2 Zoll die erstere gelten kann.

Als dringendes Erfoderniß ist jedenfalls zu erinnern, nur solche Nadeln zu Intensitätsbeobachtungen anzuwenden, die gegen einen bleibenden Verlust durch Wärme geschützt sind.

Versuch von Matteucci. Matteucci *) schließt aus folgendem Versuche, daß das weiche Eisen, wenn es von gewöhnlicher Temperatur an unter den Frostpunct erkaltet, hiebei von selbst schwach magnetisch oder mindestens für den Erdmagnetismus empfänglicher wird, so lange die kalte Temperatur bleibt, bei Rückkehr zur gewöhnlichen Temperatur aber seinen Magnetismus wieder verliert.

Er nahm einen Draht weichen Eisens von 0,222 Meter Länge und 2 Millimeter Dicke und fand, daß, wenn er denselben in seiner ganzen Länge vor einer Magnetnadel in einem Abstande von 0,041 Meter vorbeiführte, diese stets eine gleichbleibende Anzahl Oscillationen machte. Darauf brachte er den Draht in eine dicke Glasröhre, deren Temperatur durch ein Gemeng von Salz und Eis sich auf — 12°,5 C. befand. Als er jetzt wiederum den so erkälteten Draht in gleichem Abstande als vorhin vor der Nadel vorüberführte **), beobachtete er, daß die Nadel schneller oscillirte, wenn sich die Enden des Drahtes, als wenn sich die Mitte desselben davor befand. Die Schwingungsdifferenz war 74 — 68 Oscillationen. Als der Apparat nach 8stündigem Liegen wieder zur gewöhnlichen Temperatur zurückgekommen war, machte auch die Nadel wieder vor allen Puncten des Drahtes dieselbe Anzahl von Schwingungen.

## Einfluß des Lichtes.

Der Versuche, Magnetismus durch Licht zu erregen, sind bekanntlich sehr viele gemacht worden und zwar mit sehr wechselnden Resultaten. Indeß schien es nach den neueren Versuchen der Lady Sommerville ***), Baumgartners ****), Zantedeschi's †), Barlocci's ††), welche

*) Bibl. univ. 1831. Août. 383.

**) Es wäre unstreitig nöthig gewesen anzugeben, ob der Draht hiebei in verticaler Lage gehalten wurde. F.

***) Pogg. VI. 493.

****) Baumg. und Ett. Zeitschr. III. 263.

†) Pogg. XVI. 187 oder Schweigg. J. LVI. 108 oder LVIII. 292.

††) Schweigg. J. LVIII. 73.

sämmtlich dahin übereinstimmten, dem Lichte ein Magnetisirungsvermögen, wenigstens unter gewissen Verhältnissen, beizulegen, daß die Erfahrung sich zuletzt hinlänglich bejahend über diesen Umstand entschieden habe. Nun aber haben neuerdings Rieß und Moser *) Versuche angestellt, welche in Bezug auf dieses so vielfach besprochene Magnetisirungsvermögen des Lichtes dasselbe zu leisten scheinen, als Erdmann's Versuche in Bezug auf das nicht minder oft behauptete und durch Versuche angeblich bewiesene chemische Vermögen des Magnetismus, indem sie nämlich zu ganz negativen Resultaten darüber geführt haben; und die Sorgfalt, mit der die Verfasser ihre Versuche angestellt haben, und die man nach anderen Arbeiten derselben Physiker auch bei dieser voraussetzen darf, muß allerdings diesen negativen Resultaten ein nicht geringes Gewicht beilegen, um so mehr, da sie auf die Irrthümer aufmerksam machen, die ihre Vorgänger zum Theil irre geleitet haben konnten. Wir verweisen diejenigen, die sich näher über alle die Umstände, welche bei diesen Versuchen von den Verfassern in Betracht gezogen wurden, belehren wollen, auf die Originalabhandlung, und wollen nur bemerken, daß auch Versuche mit polarisirtem weißen, blauen und violetten Lichte, mochte die Polarisationsebene parallel oder senkrecht der Axe der Nadel sein, ein negatives Resultat lieferten.

### Versuche von Plateau über Mittheilung des Magnetismus **).

Plateau macht folgende Versuche bekannt:

Man richte einen Magnetstab so ein, daß er sich in einer horizontalen Ebene um eine Axe drehen kann, welche durch seine Mitte geht, und bringe über diesem Stabe eine Magnetnadel auf einem Stifte oder an einem Coconfaden an. Giebt man dem Stabe eine hinlänglich langsame Rotationsbewegung, so wird die Nadel derselben folgen und sich mit drehen; vermehrt man aber die Geschwindigkeit des Stabes bis zu einem gewissen Puncte, so wird die Nadel aufhören sich zu drehen und bloß noch große Oscillationen machen; bei noch weiter vermehrter Geschwindigkeit des Stabes wird sich die Amplitude dieser Oscillationen mindern und endlich werden sie bei einem größern Grade der Geschwindigkeit ganz aufhören, so daß die Nadel in fixer Lage im magnetischen Meridian bleiben wird, als wenn der Stab nicht vorhanden wäre.

Es wird hiebei die Frage aufgeworfen, ob diese Thatsachen nicht darauf zu deuten schienen, daß die Fortpflanzung der magnetischen Wirkung eine gewisse Zeit erfodere? — Natürlicher scheint sie mir jedoch darauf zurückzuführen, daß die Mittheilung der Bewegung einer gewissen Zeit bedarf.

*) Pogg. XVI. 563.

**) Bull. univ. des sc. math. 1830. mars. p. 192.

## III. Magnetisirungsmethoden.

**Verfertigung starker Magnete, von Keil in Langensalza *).**

Keil hat ein Verfahren entdeckt, aber noch nicht bekannt gemacht, Magnete von bis jetzt unbekannter Stärke zu verfertigen. Nach der kurzen Notiz, die bis jetzt davon gegeben ist, besitzt er einen hufeisenförmigen Magnet, welcher, bei einem eigenen Gewicht von $1\frac{1}{2}$ Kilogramme, 20 Kilogrammen trägt, und einen andern hufeisenförmigen, aus 9 Platten bestehenden, welcher, bei 19,5 Kilogrammen Gewicht und 0,43 Meter Länge, 218 Kilogramme trägt. Keil versichert, daß er im Stande sein würde, Magnete zu verfertigen, die 1000 Kilogramme zu tragen vermögen.

Er hat von diesen starken Magneten eine sehr glückliche Anwendung zur Heilung verschiedener Krankheiten, namentlich rheumatischer, krampfhafter und schmerzhafter Übel überhaupt gemacht.

**Magnetisirung weichen Eisens durch elektrische Ströme.**

Pfaff **) hat die, nachher auch von Anderen bestätigte, Erfahrung gemacht, daß ein Stab von weichem Eisen eine wirklich bewundernswürdige Stärke von Magnetismus erlangt, wenn man durch einen Metalldraht, der ihn spiralförmig umwindet (so daß die Windungen weder sich noch den Stab leitend berühren), einen kräftigen elektrischen Strom, mittelst einer großplattigen einfachen Kette gehen läßt. Doch hält dieser Magnetismus nur so lange an, als die elektrische Strömung dauert.

Die Einrichtung des Apparates, dessen sich Pfaff bei seinen Versuchen bedient, ist in Figur 5. vorgestellt. D stellt einen, oben hakenförmig gebogenen, Messingstab vor, welcher in den Tisch C B B eingeschraubt ist, und dazu dient, das hufeisenförmig gebogene weiche cylindrische Eisen M zu tragen, um welches spiralförmig der dicke Kupferdraht ***) m, n gewunden ist, dessen Enden in die Quecksilbergefäße e, e′ übergehen, in welche die Pole einer galvanischen Kette geleitet werden. Als solche wendet der Verfasser ein einfaches Voltaisches Element an, welches in Figur 6. im Verticaldurchschnitte vorgestellt ist. Es besteht aus einem cylindrischen Kupferkasten, dessen Wandungen zwei concentrische Kupferplatten C und C sind, zwischen welchen der hohle Zinkcylinder Z Z in die erregende Flüssigkeit, mit welcher der Kupferkasten gefüllt ist, eingesenkt wird ****).

*) Bull. univ. des sc. math. XII. 241.

**) Schweigg. LVIII. 273.

***) Unstreitig muß er so eingerichtet sein, daß die Windungen desselben in keiner leitenden Gemeinschaft mit dem weichen Eisen stehen.

****) Folgendes sind die Dimensionen des von Pfaff angewandten Apparates: Die größte Länge des weichen Eisens (Figur 5.) h g beträgt 2 Decimeter und die Dicke etwa 12 Millimeter. Der Kupferdraht, statt dessen auch

Bedient man sich bei den, in der Anmerkung angegebenen, Dimensionen des Apparates einer Flüssigkeit aus 16 Theilen Wasser, 1 Theil Salzsäure und $\frac{1}{2}$ Theil Salpetersäure, so wird man einen elektrischen Strom erhalten, der einen so stark magnetisirenden Einfluß auf das weiche Eisen ausübt, daß dieses augenblicklich einen mit 6, 8 ja 10 Pfunden beschwerten Anker mit seinen Enden g, g′ trägt. „Es gränzt, sagt Pfaff, an Zauberei, in dem Augenblicke, daß man mit einem der Drähte den Kreis schließt und so den elektrischen Strom einleitet, selbst aus einiger Entfernung, den mit 8 Pfund und darüber beschwerten Anker angezogen zu sehen, der eben so augenblicklich wieder abfällt, wenn der Kreis unterbrochen wird. Das weiche Eisen verliert diesen seinen so kräftigen Magnetismus fast gänzlich in sehr kurzer Zeit, und schon nach einigen Minuten zieht es höchstens noch einen kleinen Schlüssel an.“

In viel größerm Maßstabe sind diese Versuche von Professor Henry und Dr. Ten Eyck wiederholt worden, worüber sich folgende Nachricht in Froriep's Notiz. Nr. 8. des XXXI. Bds. S. 117 *) findet.

Eine cylindrische Stange von weichem Eisen von 10 Zoll Länge und $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser wurde nach Art eines Hufeisens gebogen und mit einem mit Seide umsponnenen 30 Fuß langen Kupferdraht umwickelt. Mit einem $2\frac{1}{2}$ Zoll ins Gevierte haltenden Plattenpaare, welches in verdünnte Säure gesetzt wurde, verwandelte man das weiche Eisen in einen Magneten, der 14 Pfund zog. Ein Draht von derselben Länge, wie der erstere, wurde darüber gewunden und mit den Enden an eine Kupfer- und eine Zinkplatte gelöthet, wornach sich eine Verdoppelung der Wirkung ergab, und der temporäre Magnet 28 Pfund trug. Mit Platten von 6 Zoll Länge und 4 Zoll Breite trug er mehr als das Funfzigfache seines eigenen Gewichts.

Doch die stärkste Wirkung, welche je durch Voltaismus auf weiches Eisen hervorgebracht ward, ergab sich bei Anwendung einer Eisenstange von 2 Zoll ins Gevierte und 20 Zoll Länge, deren Kanten abgerundet waren, und die man in Gestalt eines Hufeisenmagnets gebogen hatte. Um dieses Hufeisen wurden 540 Fuß kupfernen Glockendrahtes (Copper-bell-wire) in 9 Knäueln, jeder zu 60 Fuß, gewunden. Diese Knäuel oder Umwickelungen liefen nicht ohne Unterbrechung von einem Ende des Magneten bis zum andern, sondern jeder derselben war um eine etwa 1 Zoll lange Stelle des Hufeisens gewickelt, so daß die gehörig numerirten Enden der Drähte eine Strecke hervorragten. Ein Ende um das andere wurde

ein Messingdraht dienen kann, ist reichlich 3 Millimeter dick (da ein dünner Kupferdraht bei Anwendung einer einfachen Kette nur schwach wirkt) und die Windungen sind so dicht, daß auf die ganze Länge des Eisens etwa 170 Windungen kommen und etwa 10 Fuß dieses Drahtes erfoderlich sind. Die Höhe des Kupferkastens (Figur 6.) beträgt etwa $2\frac{1}{2}$ Decimeter, seine Weite von einer Kupferwand zur andern etwa 2 Centimeter, so daß, nach Eintauchen des Zinkcylinders, der Raum etwa 18 Unzen Flüssigkeit faßt.

*) Aus The Journ. of the royal Instit. Nr. 3. Mai 1831.

an einen Kupfercylinder und die andern an kleinere Zinkcylinder gelöthet, welche nur $\frac{2}{3}$ Quadratfuß Oberfläche hielten, und indem man den einen innerhalb der andern in verdünnte Säure einsetzte, wurden folgende außerordentliche Wirkungen hervorgebracht. Als die Armatur von weichem Eisen quer über die Enden des Hufeisens gelegt und mit Gewichten beschwert wurde, so viel der temporäre Magnet deren tragen konnte, fand sich, daß das Totalgewicht 650 Pfund betrug, was für eine so kleine Batterie, zu deren Bedeckung nur $\frac{1}{2}$ Pinte verdünnter Säure gehörte, eine erstaunliche Wirkung ist. Bei Anwendung einer stärkern Batterie zog der Magnet 750 Pfund, was die größte magnetische Kraft war, welche sich überhaupt durch den Voltaismus in dieser Stange entwickeln ließ. Dies scheint der stärkste Magnet zu sein, der, sei es nun auf die bei Stahlstangen gewöhnlichen Verfahrungsarten, oder mittelst des Voltaismus hervorgebracht worden ist. Herrn Peals Magnet wiegt 53 Pfund und hebt 310 Pfund, oder ungefähr das Sechsfache seines eigenen Gewichts, während dieser temporäre Magnet nur 21 Pfund wiegt, und mehr als das 35fache seines eigenen Gewichts trägt.

Wenn die Enden der Drähte so vereinigt wurden, daß ein fortlaufender Draht von 540 Fuß Länge entstand, so zog der Magnet nur 140 Pfund" *).

Ten Eyck hob mit einem kleinen Hufeisen von einem etwas breitgeschlagenen runden Eisenstäbchen, das 1 Zoll lang, $\frac{3}{16}$ Zoll stark und mit 8 Fuß Messingdraht umwunden war, mittelst einer Cylinderbatterie das 420fache Gewicht des Magneten.

Pfaff hat auch den Einfluß seiner Vorrichtung von dickem Kupferdraht auf die Verstärkung der Kraft eines Hufeisenmagneten versucht. Die Wirkung war hier viel weniger auffallend, als beim weichen unmagnetischen Eisen, und der Strom mußte längere Zeit hindurchgeleitet werden, ehe die Verstärkung sehr merklich wurde; indeß wurde doch die Kraft desselben, die freilich an sich nur schwach war, da er nicht viel über 1 Pfund trug, verdoppelt, und zwar war diese Verstärkung dauernd. (Vgl. auch Marx in Schweigg. J. LIX. 251, Moll in Bibl. univ. Sept. 1830. 19 oder Baumg. Zeitschr. IX. 106).

*) Hiebei wird noch folgendes anomale Phänomen angeführt, dessen Genauigkeit wir dahin gestellt sein lassen wollen: „Bei Anwendung einer Batterie von 25 Plattenpaaren, welche dieselbe Oberfläche wie die cylindrische Batterie darbot, wurde mit einem langen Kupferdrahte eine größere elektrische Wirkung hervorgebracht, als mit einem kurzen; denn brachte man die Enden der Batterie mit denen in Verbindung, welche einen kleinen Hufeisenmagnet umgaben, so zog er bloß 7 Unzen, brachte man aber einen $\frac{1}{5}$ Meile langen Kupferdraht dazwischen, so zog er 8 Unzen."

## IV. Magnetische Figuren.

### Magnetische Figuren, von Halbat *).

Wenn man auf eine Stahlplatte mit dem Pole eines Magnetstabes gerade oder krumme Züge gewissermaßen schreibt, dann die Platte mit Eisenfeile bestreut, so hängt sich diese an die Umrißlinien der mit dem Magnet gestrichenen Stellen an und macht sie dadurch sichtbar. Die so entstandenen Figuren sind es, was Halbat magnetische Figuren nennt. Sie sind deshalb interessant, weil sie zeigen, daß sich in einer, in allen ihren Theilen des Magnetismus fähigen, Masse derselbe unter Umständen doch bloß auf umschriebene Stellen zu beschränken vermag **). Folgendes sind die näheren Bestimmungen, die Halbat über die Art, diese Figuren hervorzubringen und ihre nähere Beschaffenheit, giebt.

Gewöhnlich wendet er Platten von 2 bis 3 Quadrat Centimeter Oberfläche und 1 bis 3 Millimeter Dicke von Stahlblech an, wie es zur Fabrication der Kuirasse angewandt wird, die ihm am vorzüglichsten zu sein schienen. Die Platten müssen rein, nicht rostig und mit der Feile oder feinem Kiessande abgerieben sein. Auch verzinnt kann man sie anwenden. Da ihre Coercitivkraft hinreichend groß ist, so hat man nicht nöthig, sie zu härten ***).

Die Figuren fallen um so schöner aus, je kräftiger der Magnetstab ist, der sie hervorbrachte. Das Ende desselben, was man dazu anwendet, muß etwas abgerundet sein, um sich genauer an die Platte zu appliciren. Man darf den Schriftzügen nicht mehr als 4 bis 5 Centimeter Höhe geben, wenn sie recht deutlich ausfallen sollen.

Interposition von Blättern oder Platten aus nicht magnetisirbaren Substanzen, wie Pappe, Holz, Glas oder selbst Metallen, welche des Magnetismus nicht fähig sind, zwischen den schreibenden Magnet und die Stahlplatte hindert das Erscheinen der magnetischen Figuren nicht, nur entstehen sie nach Maßgabe des vermehrten Abstandes des Pols von der Platte schwieriger.

Die Eisenfeile streut man mittelst eines kleinen Metallsiebes in dünner Schicht auf und unterstützt ihr Streben, sich an den magnetisirten Stellen anzuhängen, durch einige Erschütterungen, in die man die Platte versetzt,

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLII. 33.

**) Der Verfasser erwähnt übrigens bei dieser Gelegenheit, daß auch Eisen- oder Stahlnadeln, die in ihrem mittlern Drittheil magnetisirt werden, ihren Magnetismus nicht nach den beiden Enden fortpflanzen.

***) Eisenplatten halten zwar auch einige Spuren Magnetismus zurück, wenn man Züge mit Magneten darauf macht, doch sind die Figuren, die man so erhält, unvollkommen und vergänglich, selbst wenn man das Eisen stark gehämmert hat.

indem man mit einem kleinen Schlüssel an die Ränder derselben schlägt. Hiebei jedoch muß man sich hüten, dieselbe in regelmäßige Schwingungen zu versetzen, wenn man nicht etwa, was allerdings nicht ohne Interesse ist, die Chladni'schen Klangfiguren mit den magnetischen in Verbindung erscheinen sehen will.

Die Eisenfeile hängt sich immer am Umriß der mit dem Magnetpol gestrichenen Stellen an, so daß die Dicke der Züge leer davon bleibt. Überhaupt zeigen die magnetischen Figuren die vollkommenste Ähnlichkeit mit denen, welche man auf Platten aus nicht magnetisirbaren Substanzen, wie Holz, Pappe, Glas rc., auf welche man einen Magnet legt, durch Bestreuen mit Eisenfeile hervorbringen kann, wofern der Magnet und die gestrichenen Stellen von gleicher Gestalt sind.

Die magnetischen Figuren sind gleicher Beschaffenheit, mögen sie durch den Nord- oder Südpol des Magneten hervorgebracht werden.

Sie lassen sich nicht dadurch erzeugen, daß man eine Platte, auf der die magnetischen Züge schon hervorgebracht sind, auf eine andere applicirt, die sich in neutralem Zustande befindet; doch vermögen kleine Nadeln durch diese Züge magnetisirt zu werden.

Durch kleine, an einem Coconfaden aufgehangene, Prüfungsnadeln kann man sich überzeugen, daß die Theile der Platte, welche die magnetischen Figuren umgeben, sich wirklich in neutralem Zustande befinden.

Der Magnetismus dieser Züge ist sehr andauernd, wahrscheinlich, weil die neutral bleibenden Theile der Platte denselben als Armatur dienen. Haldat fand sie noch nach 6 Monaten sehr deutlich wieder. Durch Erhitzung auf glühenden Kohlen bis zu der Temperatur, worin die Platte strohgelb wird, lassen sie sich jedoch gänzlich zum Verschwinden bringen, dagegen ein stundenlanges Eintauchen in kochendes Wasser sie nicht merklich zu schwächen schien. Die Figuren, die durch einen Pol erzeugt waren, durch den entgegengesetzten wieder zum Verschwinden zu bringen, versuchte Haldat vergebens.

Dagegen gelang ihm, dieses durch wiederholte und heftige Erschütterungen, in die er die Platte versetzte, zu bewirken. Zu diesem Zwecke legt man die Platte, auf welcher sich die magnetischen Züge befinden, auf eine Bole (madrier), und schlägt wiederholt mit einem kleinen hölzernen Hammer darauf, so daß sie in heftige Schwingungen geräth. Bei diesem Verfahren werden die Figuren binnen zwei oder weniger Minuten schwächer, verlieren ihre Regelmäßigkeit und verschwinden zuletzt vollständig, wenn man fortfährt, sie auf dieselbe Weise zu schlagen, wozu der Verfasser stets 3 bis 4 Minuten hinreichend fand. Übrigens überzeugte sich derselbe, daß regelmäßige Schwingungen, welche Töne hervorzubringen fähig sind, diese Wirkung nicht äußern.

### Über die magnetischen Curven.

Wenn man Eisenfeilspäne auf ein Blatt Papier streut, auf oder unter welchem sich ein Magnet befindet, so ordnen sich bekanntlich die Spän-

chen in regelmäßigen Curven an, die man magnetische Curven nennt, und deren Eigenschaften von Robison, Playfair und Leslie untersucht worden sind. Roget hat neuerdings die Fundamentaleigenschaften dieser Curven auf eine einfachere Weise aus dem Gesetze der magnetischen Anziehung abgeleitet, als bisher geschehen, und zugleich Mittel angegeben, sie auf mechanische Weise zu beschreiben.

Es seien N und S (Fig. 6 bis) die beiden Pole des Magneten, welcher die magnetischen Curven erzeugt, dann kann die Richtung eines unendlich kleinen Elementes einer solchen Curve, welches durch einen beliebigen Punct C geht, oder, was dasselbe sagt, die Richtung der Tangente der Curve am Puncte C als durch die Lage bestimmt angesehen werden, welche durch Wirkung des Magneten eine unendlich kleine Magnetnadel annehmen würde, die sich in C befände und frei um ihren Mittelpunct in einer durch N und S gelegten Ebene zu drehen vermöchte; und diese Lage des Gleichgewichtes wird durch die Bedingung bestimmt werden, daß die Drehungskräfte, welche auf beide Pole der Nadel von jedem Pole des Magnetes geäußert werden, einander genau die Wage halten.

Die Tangente der Curve am Puncte C wird die verlängerte Axe NS des Magneten in irgend einem Puncte T schneiden, und es wird mithin hinreichen, um die Richtung dieser Tangente und sonach des Elementes C zu finden, die Länge ST zu bestimmen, d. h. den Abstand des Punctes, in welchem die Tangente in die verlängerte Axe NS einschneidet, vom nächsten Pole S des Magneten. Dieser Abstand nun wird durch folgenden Satz bestimmt:

Der Abstand ST ist gleich dem Producte aus dem gegenseitigen Abstande NS beider Pole in den Cubus des Abstandes SC, dividirt durch die Differenz der Cuben der Abstände NC und SC, oder es ist:

$$x = \frac{ms^3}{n^3 - s^3}$$

wenn x den Abstand ST, s den Abstand SC, n den Abstand NC, m die Länge NS bedeutet.

Beweis. Wenn die unendlich kleine Magnetnadel in C die Richtung CT hat, so verhalten sich die wirksamen Theile der Drehungskräfte, welche von beiden Polen auf die Nadel wirken, zu einander direct wie die Sinus der Winkel NCT und SCT, und umgekehrt wie die Quadrate von n und s. Läßt man nun von N und S die Perpendikel NP und SQ auf CT fallen und nennt diese Perpendikel respectiv p und q, so hat man $\sin NCT = \frac{p}{n}$ und $\sin SCT = \frac{q}{s}$, mithin, wenn R und r die wirksamen Theile der Drehungskräfte heißen, die von N und S auf die Nadel in C wirken, so hat man:

$$R : r = \frac{\sin NCT}{n^2} : \frac{\sin SCT}{s^2} = \frac{p}{n^3} : \frac{q}{s^3}$$

und, weil vermöge Ähnlichkeit der Dre[illegible]ecke NPT und SQT

$$p : q = m + x : x$$

so hat man auch

$$R : r = \frac{m + x}{n^3} : \frac{x}{s^3}$$

Da nun die Richtung CS durch die Bedingung bestimmt wird, daß die Kräfte R und r gleich sind, so hat man

$$\frac{m + x}{n^3} = \frac{x}{s^3}$$

$$\text{oder } x = \frac{s^3 m}{n^3 - s^3} \text{*)}$$

Die bemerkenswertheste Eigenschaft der magnetischen Curve ist die, daß die Cosinus der Winkel CNT, CST (Fig. [illegible]), welche die von einem beliebigen Puncte C der Curve zu den zwei Polen N und S gezogenen Geraden mit der Axe auf derselben Seite machen, als Differenz eine constante Quantität geben, wofern beide Winkel entweder spitzig oder beide stumpf sind, und als Summe (dieselbe constante Quantität), wenn der eine Winkel spitz, der andere stumpf ist.

Beweis dieser Eigenschaft.

Es mögen r, R, n, s, p, q die Bedeutung wie im Vorigen haben: Man gehe (Figur 8.) vom Puncte C in der magnetischen Curve zu einem unendlich nahen Puncte C′ in derselben Curve über; man ziehe NC′ und verlängere diese Gerade, bis sie einen, von N aus mit dem Radius NC = n beschriebenen, Kreisbogen CA in A schneidet. Man fälle das Perpendikel CE auf NT und das Perpendikel Ai auf CE. Man setze:

$$CA = a$$

$$CE = e$$

$$Ai = f$$

$$CC' = t$$

$$CNT = \alpha$$

$$\cos \alpha = c$$

Während man von C zu C′ übergeht, ändert sich der Winkel $\alpha$ um den unendlichkleinen Winkel $d\alpha$, und der Cosinus c um dc. Man hat mithin

$$d\alpha = CNA = \frac{a}{n}$$

und

*) Man kann Linien, die im Verhältniß der Cuben zweier gegebenen Linien AB, AC Fig. 7. stehen sollten, auf folgende Weise geometrisch construiren: Man setze AB und BC rechtwinklich an einander, ziehe BC und fälle das Perpendikel AD von A auf BC. Man ziehe CE und DF parallel mit AB und DE parallel mit AC. Die Linien DF, DE werden dann zu einander sich wie die Cuben von AB und AC verhalten.

$$dc = \frac{Nb - NB}{NC} = \frac{f}{n}, \text{ also}$$

$$n : f = d\alpha : dc.$$

Nun ist das Dreieck AiC *) dem Dreieck CNE ähnlich, weil ihre Seiten senkrecht auf einander stehen, und das Dreieck CAC′ ist dem Dreieck CNP ähnlich **); mithin hat man

$$n : f = d\alpha : dc = n : e \text{ und}$$

$$n : p = t : a; \text{ daher } a = t\frac{p}{n} \text{ und}$$

$$dc = \frac{e\,d\alpha}{n} = e\frac{a}{n^2} = et\frac{p}{n^3}$$

Wenn man nun eine ganz ähnliche Betrachtung, als hier für die Radii vectores NC und NC′ angestellt worden ist, für die Radii vectores SC und SC′ (letzteres ist nicht verzeichnet) anstellt, so wird man, wenn k der Cosinus von CST ist, eben so erhalten

$$dk = et\frac{q}{s^3}$$

mithin

$$dc : dk = \frac{p}{n^3} : \frac{q}{s^3} = R : r$$

Da nun die Bedingung der Curve ist R = r, so hat man auch

$$dc = dk, \text{ daher durch Integration } c = k + \text{Const. oder}$$

$$c - k = \text{Const.}$$

Dies gilt für den Fall, wo die Winkel CNT, CST beide spitz oder beide stumpf sind; wäre der eine spitz, während der andere stumpf wäre, so würden die Änderungen von c und k beim Übergange von C zu C′ von entgegengesetzten Vorzeichen sein, und man mithin statt der obigen Proportion haben

$$dc : -dk = R : r, \text{ mithin für } R = r$$

$$dc = -dk;\ c = -k + \text{Const.};\ c + k = \text{Const.}$$

Aus der vorstehenden Eigenschaft ergiebt sich nun folgendes

Verfahren, die magnetische Curve zu beschreiben. An den Polen des Magneten N und S (Fig. 9.) nehme man zwei Radios Nn und Ss von gleicher Länge und lasse sie sich nach derselben Richtung um ihre respectiven Centra N und S drehen, während ihre andern Enden n und s stets in einer solchen gegenseitigen Lage erhalten werden, daß die sie verbindende Linie senkrecht auf der Axe NX des Magneten bleibt. Dann wird die Linie, welche durch die successiven Durchschnittspuncte

*) AC fällt merklich mit einer Geraden zusammen, die auf CN senkrecht steht.

**) Zunächst nämlich ist △CAC′ ähnlich △NC′P, weil ein Rechter und die Scheitelwinkel darin gleich sind; der Winkel C′NP unterscheidet sich aber von CNP bloß unendlich wenig, oder es ist NA merklich parallel NC, weil der Winkel CNC′ unendlich klein, daher △CC′A auch ähnlich △CNP.

C, c′ ꝛc. der beiden Radien gebildet wird, eine magnetische Curve sein. In der That erhellt, daß nach dieser Construction, vermöge Gleichheit der Radii Nn und Sn, als Cosinus der Winkel CNX und CSX die Linien NX und SX angenommen werden können, deren Differenz NS ist. Dieselbe Differenz haben die Cosinus der Winkel C′NX und C′SX u. s. f. Wäre CSX ein stumpfer Winkel, während CNX ein spitzer ist, so würde man eben so finden, daß die Summe der Cosinus von beiden Winkeln nach der gegebenen Construction der constanten Größe NS gleich ist.

Der Verfasser hat auf das vorstehende Princip folgendes Verfahren gegründet, die Curve auf mechanischem Wege zu beschreiben.

Das Lineal Nn, Fig. 10, ist mit einem verschiebbaren Laufer (collar) umgeben, der mittelst einer Schraube an beliebigen Puncten der Länge des Lineals befestigt werden kann. Der Laufer hat ein Loch am Rande des Lineals zum Durchgange eines Stiftes, durch den es auf ein, zuvor mit einem Blatte Papier bedecktes Bret an dem Puncte, der für den Pol N gelten soll, befestigt wird, so daß das Lineal sich um diesen Punct als Mittelpunct drehen kann. Ein anderes Lineal AB von gleicher Länge mit Nn, welches mit einem ähnlichen Laufer versehen ist, dreht sich um A am Ende der Linie AN, welche senkrecht auf die Axe NS ist. Die anderen Enden B und n dieser zwei Lineale sind mittelst eines dritten (das an Länge gleich AN ist) verbunden, welches während der Bewegung von Nn und AB parallel mit AN und mithin senkrecht auf NS bleibt. Das Lineal Bn hat eine Furche in seiner ganzen Länge, in welcher ein Knopf (button), der von dem Ende des Lineals Ss hervortritt, verschiebbar ist. Das Lineal Ss ist ebenfalls mit einem Laufer gleich dem früheren versehen, wodurch es an das Bret in S oder an einen beliebigen andern Punct der Linie NS, welcher als Südpol gelten soll, befestigt wird. Ein Bleistift, welcher dem Durchschnitte der Lineale Nn und Ss mit einander, während sie sich um N und S drehen, folgt, beschreibt die magnetische Curve. Beim Aneinanderfügen der verschiedenen Lineale muß Sorge getragen werden, daß die Abstände der Puncte A, N und S respective von B, n und s sämmtlich gleich sind; und aus diesem Grunde wird es zweckmäßig sein, die Lineale nach einer Scale von gleichen Theilen zu graduiren. Je größer diese Abstände sind, desto größer wird die vom Instrumente beschriebene Curve sein. Wenn das Lineal Nn so weit herabgekommen ist, daß es mit der Axe NS coincidirt, so hat das andere Lineal Ss die Lage der Tangente an der Curve bei ihrem Ursprunge vom Pole N.

Wenn die zwei Pole, welche die magnetischen Curven erzeugen, gleichnamig sind, anstatt ungleichnamig, wenn z. B. anstatt des Nord- und Südpols eines und desselben Magneten die Nordpole N und N′ zweier verschiedenen, einander gegenübergelegten Magneten, bei denen die Wirkung der entfernten Südpole vernachlässigt wird, angewandt werden, so entsteht ein anderes System von Curven, welche man zum Unterschiede von den vorigen, die nach den Polen convergiren, divergirende magnetische

Curven genannt hat. Ihre Eigenschaften und Erzeugung ergeben sich leicht nach dem Vorstehenden, wenn man folgende Modificationen berücksichtigt. Im ersten Falle, wo die Wirkungen der zwei Pole des Magneten von entgegengesetzter Art waren, fiel die Richtung ihrer Resultante, oder der Linie CT, Fig. 6 bis und 8, in eine Richtung zwischen SG und der Verlängerung von NG (letztere als die Richtung der Abstoßung angenommen), und schnitt daher die Axe in irgend einem Puncte der Verlängerung von NS. Im gegenwärtigen Falle aber, wo die Pole N und N′ gleichnamig wirken, muß die verlängerte Resultante ihrer Kräfte irgendwo zwischen N und N′ in die Axe eintreffen (Figur 8.). Da nun der Winkel CN′T auf der entgegengesetzten Seite von CN′ als im vorigen Falle liegt, so muß das Vorzeichen seines Cosinus geändert werden und die Gleichung wird $\omega + k = \text{Const.}$ in dem Falle, wo der von CN′ mit der verlängerten Axe gebildete Winkel spitz und sein Cosinus positiv ist. Ist er stumpf (oder CN′N spitzig), so wird sein Cosinus negativ, mithin ist dann die Gleichung

$$\omega - k = \text{Const.}$$

Nimmt man von den gleichnamigen Polen N und P an zwei Radii vectores Nn′ und Pp′ von gleicher Länge (Figur 12), so wird die divergirende Curve durch den Ort der Durchschnittspuncte c′ beschrieben, welche die Verlängerung von Pp′ mit Nn′ macht, wenn beide sich nach entgegengesetzter Richtung so drehen, daß die verbindende Gerade von n′ und p′ stets senkrecht auf NP bleibt.

Die divergirenden magnetischen Curven können mittelst eines Instrumentes beschrieben werden, welches dem oben angegebenen ähnlich ist, nur muß das Lineal Bn doppelt so lang als das obige sein, und, um eine hinreichende Ausdehnung der Curve zu erlangen, müssen die sich drehenden Lineale Nn und Ss nach den Seiten verlängert werden, wo die Durchschnitte Platz finden sollen.

---

## V. Wirkung nicht magnetischer Metalle auf schwingende Magnetnadeln.

---

### Regel zur Bestimmung des Einflusses von der Scheiben auf oscillirende Nadeln, von Saigey *).

Wenn eine horizontale Magnetnadel über einer ruhenden nicht magnetischen Platte schwingt, so nehmen ihre Schwingungen successiv an Weite ab, und zwar vermöge zweierlei Ursachen, 1) vermöge des Widerstandes der Luft und anderer etwaiger mechanischer Widerstände; 2) vermöge des

*) Ann. des sc. d'observ. T. IV.

len. Es haben darin N, N′, M dieselben Bedeutungen als S. 58, und es wird hinreichen von N′ und M bloß eine beider Größen zu bestimmen, da sie durch die Gleichung S. 58 verbunden sind. 2a bedeutet stets den Abstand beider Pole der Nadel von einander; e′ die als sehr klein angenommene Dicke der Nadel; e die Dicke der Platte oder des Streifens, wo ein solcher angewandt wird; r den Radius der Kugel, im Fall eine solche betrachtet wird; b den verticalen Abstand der untern Fläche der Nadel von der obern Fläche der Platte, des Streifens oder der Kugel, welche auf die Nadel wirkt. F ist eine durch Versuche zu bestimmende Constante, welche von der Vertheilung des Magnetismus in der Nadel und der mittlern Geschwindigkeit derselben, so wie von der Beschaffenheit des wirkenden Metalles abhängt: $\pi = 3,141\ldots$ $\chi$ wird stets durch folgende Gleichung gegeben:

$$\chi = x + \alpha + \frac{\beta}{x} + \frac{\gamma}{x^2} + \ldots$$

worin $\alpha$, $\beta$, $\gamma$... ebenfalls durch Versuche selbst zu bestimmen sind*).

x wird im Falle einer sehr dünnen unbegränzten oder ganz kleinen Platte, so wie im Falle eines unbegränzten sehr dünnen Streifens durch folgende Gleichung bestimmt:

$$x = \sqrt{b\,(b + e + e')}$$

Im Falle einer dicken Platte oder einer Kugel aber durch folgende:

$$x = \sqrt{b\,(b + e')}.$$

Wirkung einer sehr dünnen Platte von unbegränzter Größe auf eine sehr dünne Nadel.

$$\frac{1}{M} = F\left[\frac{1}{\chi^2} - \frac{\chi}{(4a^2 + \chi^2)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

Versuche zum Belege**). 1) Mit einer platten Nadel in Gestalt eines geschobenen Parallelogrammes, dessen größte Diagonale 99,6 Millimeter, die kleine Diagonale 8 Millimeter, die Dicke 0,50 Millimeter. Die Scheibe von Kupfer, von 518,3 Millimeter Durchmesser und 1,152 Millim. Dicke.

$N = 200$***); $e = 1,152$ Mill.; $e' = 0,50$ Mill.; $2a = 74,4$ Mill.; $\alpha = 7$, $\beta = 7$****).

*) Sie hängen bloß von der Form der Nadel ab, und verschwinden um so mehr, je mehr sich die Nadel der Form einer Linie ohne Breite und Dicke nähert. Im Allgemeinen reicht es hin, bloß die ersten zwei dieser Constanten beizubehalten; ja oft, namentlich für größere Entfernungen, reicht bloß die Beibehaltung einer einzigen hin.

**) Die Versuche wurden so angeordnet, daß von den Trägern der Platten oder Streifen kein Einfluß auf die Nadel zu besorgen war, wie im Original näher erörtert ist.

***) d. i. die Nadel machte 200 Oscillationen außer dem Einflusse der Scheibe, während sich ihre halbe Amplitude von 10° auf 1ᵇ reducirte.

****) Der Bestimmung von $\alpha$ und $\beta$ liegen die Beobachtungen für $b = 1,02$ und $b = 17,6$ in den folgenden Tabellen zu Grunde. — Den Werth von F giebt Saigey nicht an; ich finde ihn = 3,72. P.

$$N' : n - \frac{nN'}{N} = M : n$$

woraus sich findet:

$$M = \frac{N \cdot N'}{N - N'}$$

### Über das Gesetz, nach welchem die Wirkung ruhender Scheiben, Streifen, Kugeln rc. auf die schwingende Nadel mit der Entfernung abnimmt.

Zwar hat schon Poisson die Phänomene des sogenannten Magnetismus durch Drehung der Berechnung unterworfen*), indeß sind die Suppositionen, für welche seine Lösungen gelten, von der Art, daß man sich ihnen in der Erfahrung nicht wohl gehörig nähern kann **), und die Formeln, zu denen er geführt worden ist, sind überdies so verwickelt, daß sie keine große Brauchbarkeit für Experimente besitzen. Neuerdings hat Saigey ***), ohne, wie Poisson, die Erscheinung bis in ihre letzten Bestimmungen der Berechnung zu unterwerfen, doch das Gesetz, nach welchem die Wirkung ruhender Scheiben, Streifen rc. auf eine schwingende Nadel mit der Entfernung abnimmt, durch einfache mathematische Deductionen aus der Grundvorstellung hergeleitet, daß ein magnetischer Punct auf ein metallisches Theilchen nach dem umgekehrten quadratischen Verhältnisse des Abstandes wirkt, daß dieses Theilchen nach demselben Verhältnisse darauf zurückwirkt, und daß auch die metallischen Theilchen selbst auf einander nach derselben Function des Abstandes einwirken; und er hat die so gefundenen Formeln durch genaue Versuche bewährt. Er hat ferner auf dem Erfahrungswege selbst ausgemittelt, nach welchem Gesetze sich die Wirkung einer ruhenden Scheibe auf die schwingende Nadel mit der Geschwindigkeit derselben oder dem Bogen, den sie durchläuft, ändert.

Ich will im Folgenden die Formeln, zu denen er solchergestalt für die verschiedenen, bei Versuchen am meisten in Betracht kommenden, Fälle geführt worden ist, nebst den Bewährungen derselben durch Versuche mitthei-

*) In den Mém. de l'Acad. des sc. IV.

**) Poisson setzt nämlich nicht nur eine unendlich dünne und unendlich ausgedehnte Metallplatte, sondern auch eine Magnetnadel voraus, bei welcher aller Magnetismus in ihren, als mathematischen Puncten betrachteten, Polen concentrirt ist, oder, was ziemlich auf dasselbe herauskömmt, wo der Abstand der Pole von den benachbarten Enden der Nadel sehr klein ist, im Verhältniß zur Entfernung der Nadel von der Platte. Nun folgt aus den Versuchen von Coulomb, daß bei einer cylindrischen Magnetnadel von 27 Zoll Länge auf 3 Linien Durchmesser die beiden Pole in ungefähr 1,25 Zoll Entfernung von den entsprechenden Enden der Nadel liegen; und sollte daher der Abstand der Pole von den Enden bloß $\frac{1}{100}$ des Abstandes der Nadel von der Platte betragen, so müßte die Nadel schon 125 Zoll von der Platte entfernt sein, wo aber ihre Wirkung nur noch sehr schwach sein würde.

***) Annal. des sc. d'obs. T. IV. p. 14. 181.

len. Es haben darin N, N′, M dieselben Bedeutungen als S. 58, und es wird hinreichen von N′ und M bloß eine beider Größen zu bestimmen, da sie durch die Gleichung S. 58 verbunden sind. 2a bedeutet stets den Abstand beider Pole der Nadel von einander; e′ die als sehr klein angenommene Dicke der Nadel; e die Dicke der Platte oder des Streifens, wo ein solcher angewandt wird; r den Radius der Kugel, im Fall eine solche betrachtet wird; b den verticalen Abstand der untern Fläche der Nadel von der obern Fläche der Platte, des Streifens oder der Kugel, welche auf die Nadel wirkt. F ist eine durch Versuche zu bestimmende Constante, welche von der Vertheilung des Magnetismus in der Nadel und der mittlern Geschwindigkeit derselben, so wie von der Beschaffenheit des wirkenden Metalles abhängt; $\pi = 3{,}141\ldots$ $\chi$ wird stets durch folgende Gleichung gegeben:

$$\chi = x + \alpha + \frac{\beta}{x} + \frac{\gamma}{x^2} + \ldots$$

worin $\alpha$, $\beta$, $\gamma$... ebenfalls durch Versuche selbst zu bestimmen sind*).

x wird im Falle einer sehr dünnen unbegränzten oder ganz kleinen Platte, so wie im Falle eines unbegränzten sehr dünnen Streifens durch folgende Gleichung bestimmt:

$$x = \sqrt{b\,(b + e + e')}$$

Im Falle einer dicken Platte oder einer Kugel aber durch folgende:

$$x = \sqrt{b\,(b + e')}.$$

## Wirkung einer sehr dünnen Platte von unbegränzter Größe auf eine sehr dünne Nadel.

$$\frac{1}{M} = F\left[\frac{1}{\chi^2} - \frac{\chi}{(4a^2 + \chi^2)^{\frac{3}{2}}}\right]$$

Versuche zum Belege **). 1) Mit einer platten Nadel in Gestalt eines geschobenen Parallelogrammes, dessen größte Diagonale 99,6 Millimeter, die kleine Diagonale 8 Millimeter, die Dicke 0,50 Millimeter. Die Scheibe von Kupfer, von 518,3 Millimeter Durchmesser und 1,152 Millim. Dicke.

N = 200***); e = 1,152 Mill.; e′ = 0,50 Mill.; 2a = 74,4 Mill.; $\alpha = 7$, $\beta = 7$****).

*) Sie hängen bloß von der Form der Nadel ab, und verschwinden um so mehr, je mehr sich die Nadel der Form einer Linie ohne Breite und Dicke nähert. Im Allgemeinen reicht es hin, bloß die ersten zwei dieser Constanten beizubehalten; ja oft, namentlich für größere Entfernungen, reicht bloß die Beibehaltung einer einzigen hin.

**) Die Versuche wurden so angeordnet, daß von den Trägern der Platten oder Streifen kein Einfluß auf die Nadel zu besorgen war, wie im Original näher erörtert ist.

***) d. i. die Nadel machte 200 Oscillationen außer dem Einflusse der Scheibe, während sich ihre halbe Amplitude von 10° auf 1° reducirte.

****) Der Bestimmung von $\alpha$ und $\beta$ liegen die Beobachtungen für b = 1,83 und b = 17,6 in den folgenden Tabellen zu Grunde. — Den Werth von F giebt Saigey nicht an; ich finde ihn = 2,72. P.

| Abstände b in Millimetern. | M | | N′ | |
|---|---|---|---|---|
| | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. |
| 0,147 | 2,0 | — | 2 | — |
| 0,515 | 4,1 | — | 4 | — |
| 0,882 | 6,2 | — | 6 | — |
| 1,25 | 8,3 | 7,4 | 8 | 7,1 |
| 1,62 | 10,5 | 10,5 | 10 | 10,0 |
| 2,28 | 15,1 | 15,7 | 14 | 14,6 |
| 3,01 | 19,8 | 21,2 | 18 | 19,2 |
| 3,75 | 24,7 | 26,6 | 22 | 23,5 |
| 4,41 | 29,9 | 31,5 | 26 | 27,2 |
| 5,07 | 35,3 | 36,5 | 30 | 30,9 |
| 5,96 | 42,4 | 43,5 | 35 | 35,7 |
| 7,35 | 54,8 | 55,0 | 43 | 43,1 |
| 8,82 | 68,4 | 68,6 | 51 | 51,1 |
| 10,3 | 83,7 | 83,1 | 59 | 58,7 |
| 12,5 | 108 | 107 | 70 | 69,7 |
| 14,7 | 133 | 134 | 80 | 80,2 |
| 17,6 | 174 | 174 | 93 | 93,0 |
| 20,6 | 221 | 222 | 105 | 105 |
| 24,3 | 288 | 290 | 118 | 118 |
| 28,7 | 380 | 386 | 131 | 132 |
| 33,8 | 502 | 521 | 143 | 144 |
| 39,7 | 689 | 713 | 155 | 156 |
| 46,7 | 943 | 908 | 165 | 164 |
| 53,7 | 1400 | 1364 | 175 | 174 |

| Abstände b in Millimetern. | M | | N′ | |
|---|---|---|---|---|
| | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. |
| 0,074 | 9,2 | — | 8 | — |
| 0,396 | 58,9 | 59,0 | 30 | 30,0 |
| 0,735 | 116 | 115 | 40 | 39,9 |
| 1,47 | 275 | 298 | 50 | 50,7 |
| 2,21 | 671 | 611 | 56 | 55,6 |
| 3,68 | 3333 | 1680 | 60 | 59,0 |
| unendlich | . | . | 61,1 | . |

Wirkung einer kleinen, sehr dünnen Platte (einem Puncte gleich zu achten) auf eine sehr dünne Nadel.

$$\frac{1}{M} = \frac{F}{x^4}.$$

Versuch zum Belege. Zwei kleine Kupferplatten von 4 Millimetern Breite, eben so viel Länge und 1,2 Millimeter Dicke werden unter der Nadel (auf horizontal gespannten Seidenfäden) so angebracht, daß sich ihre Mitten in den Verticalen unter den Polen der Nadel finden, welche die des zweiten Versuches S. 62 war.

Oscillationen von 2° bis 1° halber Amplitude, $a$ = 1,5 Millimeter.

| Abstände b in Millimetern. | M | | N′ | |
|---|---|---|---|---|
| | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. |
| 0,123 | 9,6 | 9,6 | 6 | 6,0 |
| 0,388 | 20,6 | 21,6 | 9 | 9,2 |
| 0,809 | 48,0 | 48,0 | 12 | 12,0 |
| 1,47 | 112 | 117 | 14 | 14,1 |
| 2,10 | 240 | 227 | 15 | 14,9 |
| unendlich | . | . | 16 | . |

Oscillationen von 3° bis 1° halber Amplitude; $\alpha = 1,4$ Millimeter.

| Abstände b in Millimetern. | M | | N' | |
|---|---|---|---|---|
| | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. | nach der Beobachtung. | nach der Berechnung. |
| 0,110 | 24,0 | 23,0 | 15 | 14,6 |
| 0,386 | 54,1 | 57,6 | 23 | 23,6 |
| 0,754 | 120 | 120 | 30 | 30,0 |
| 1,32 | 289 | 275 | 35 | 34,9 |
| 2,21 | 760 | 721 | 38 | 37,9 |
| unendlich | . | . | 40 | . |

### Wirkung einer unbegränzten Platte von größerer Dicke auf eine sehr dünne Nadel.

$$\frac{1}{M} = F\left(\frac{e}{z(z+e)} - \frac{1}{\sqrt{4a^2+z^2}} + \frac{1}{\sqrt{4a^2+(z+b)^2}}\right)$$

Auch diese Formel wurde durch Versuche bewährt, hinsichtlich deren wir auf die Originalabhandlung verweisen.

### Wirkung einer Kugel auf einen Pol einer Magnetnadel, bei vernachlässigter Wirkung auf den andern Pol.

Die nachstehende Formel findet ihre Anwendung auf eine Magnetnadel, von der ein Pol vertical über dem Mittelpunct einer Kugel schwebt, und welche lang genug ist, daß die Wirkung der Kugel auf ihren andern Pol vernachlässigt werden kann. Ihre Schwingungen müssen klein genug sein, daß der Abstand ihres Pols von dem Mittelpuncte der Kugel als merklich unveränderlich betrachtet werden kann.

$$\frac{1}{M} = \frac{4}{3}\pi F\left(\frac{r}{r+z}\right)^2\left(\frac{r}{2r+z}\right)\frac{1}{z}$$

Auch in Bezug auf diese Wirkungen sind bestätigende Versuche beigefügt, die ich der Kürze halber übergehe.

### Abhängigkeit der Wirkung, welche die schwingende Nadel von einer ruhenden Scheibe erfährt, von der Geschwindigkeit der Nadel.

Setzen wir bei einer Nadel, deren Oscillationen sich allmälig verkleinern, die Geschwindigkeit, mit welcher sie im magnetischen Meridian anlangt, wenn sie einen Bogen von m Graden durchlaufen hat, $= \varepsilon$, und wenn sie einen nicht sehr davon verschiedenen Bogen von n Graden durchlaufen hat, $= \varepsilon'$, so hat man

$$M^{*)} = \frac{k\,(s - s')}{m + n}$$

worin k eine durch Versuche zu bestimmende Constante ist.

$s$ und $s'$ werden respectiv durch die Gleichung gegeben

$$s = \sqrt{1 - \cos m};\; s' = \sqrt{1 - \cos n}$$

(indem man die Geschwindigkeit für die Elongation von 90° = 1 setzt).

Die vorstehende Formel drückt, genau betrachtet, nichts anderes aus, als daß der Verlust an Geschwindigkeit $(s + s')$, den die Nadel bei Verkleinerung ihrer halben Amplitude (von m auf n Grad) durch bloße Wirkung der Scheibe erfährt, für jede einzelne Oscillation proportional ist der mittlern halben Amplitude

$$\left(\frac{m + n}{2}\right)^{**)}$$

Versuch zum Belege. Nadel und kupferne Platte waren dieselben, als in den ersten Versuchen S. 60. Es wurden zwei Versuchsreihen angestellt, eine bei 20,59 Millimeter, die andere bei 22,06 Millimeter Abstand der Nadel von der Platte, woraus im Folgenden das Mittel genommen ist ***).

| Gränzen der halben Amplitude. | Beobachteter Werth von M | N | N' | Berechneter Werth von N' †) |
|---|---|---|---|---|
| 90°—80° | 11,7 | 4,8 | 3,40 | 3,33 |
| 80°—70° | 14,0 | 6,1 | 4,25 | 4,29 |
| 70°—60° | 17,0 | 7,7 | 5,30 | 5,24 |
| 60°—50° | 20,2 | 9,7 | 6,55 | 6,56 |
| 50°—40° | 25,9 | 13,0 | 8,66 | 8,66 |
| 40°—30° | 33,9 | 18,7 | 12,05 | 12,05 |
| 30°—20° | 43,4 | 28,8 | 18,05 | 18,05 |
| 20°—15° | 32,6 | 22,2 | 13,20 | 13,20 |
| 15°—10° | 45,2 | 33,0 | 19,25 | 19,25 |

*) Die Bedeutung von M s. S. 58.

**) Der Verfasser erklärt es übrigens selbst noch für fraglich, ob die vorstehende Formel auch für sehr große Geschwindigkeiten der Nadel und in Fällen, wo das Zustandekommen der magnetischen Einwirkung auf die Scheiben sich nicht als augenblicklich ansehen läßt, ihre Gültigkeit behaupten würde.

***) Der Werth k ergiebt sich nach meiner Berechnung, aus der Beobachtung von 50° — 40° bestimmt, = 0,002045. F.

†) Dieser Werth ist nach Formel S. 58 berechnet, worin M durch die vorige bestimmt worden ist.

## VI. Einwirkung des Magnetismus auf chemische und Krystallisationserscheinungen.

Über diese Einwirkung sind schon viele Beobachtungen, jedoch zum Theil mit wenig Umsicht, angestellt worden, daher sie auch mehrfach widersprechende Resultate geliefert haben. Ein Theil der Beobachter wollte eine verschiedene Oxydabilität der beiden Magnetpole, so wie eine verschiedene Einwirkung des Erdmagnetismus oder künstlicher Magnete auf den Krystallisationsproceß wahrgenommen haben. Erdmann*) hat alle, bisher über diesen Gegenstand bekannte, Angaben aufs Neue mit großer Umsicht und durch eine große Anzahl Versuche geprüft und sich dadurch zu der Überzeugung geführt gesehen, daß der Magnetismus weder auf die chemischen noch Krystallisationserscheinungen einen bemerklichen Einfluß äußert, so daß die entgegengesetzten Angaben früherer Beobachter in diesem Bezuge auf Täuschungen beruhen, daher rührend, daß sie ihre Versuche nicht genug vervielfältigt oder sie nicht unter gehöriger Beseitigung von Nebeneinflüssen angestellt haben. Hinsichtlich des Details von Erdmann's Versuchen verweise ich auf die Originalabhandlung, und will hier nur bemerken, daß er bei einigen derselben sogar ein magnetisches Magazin von ungefähr 80 Pfund Tragkraft ohne Erfolg anwendete.

Die negativen Erfahrungen Erdmann's erhalten noch mehr Gewicht durch eben so entschieden negative Erfahrungen, welche auch mehrere andere über denselben Gegenstand in neuerer Zeit gemacht haben. So schreibt Berzelius in seinem neuesten Jahresberichte (X. 43) über diesen Gegenstand Folgendes: „Während eines Aufenthaltes in London, im Sommer 1812, hatte mir Jemand eine briefliche Mittheilung über merkbare chemische Wirkungen durch magnetischen Einfluß gemacht. Ich dachte daher die Gelegenheit zu benutzen, um mit den bekannten Knight'schen magnetischen Magazinen die beschriebenen Versuche zu wiederholen. Durch Wollaston's Beistand gelang es, dieselben zu erhalten, die damals in einer Polterkammer aufbewahrt wurden. Wir stellten zusammen verschiedene Versuche an, um chemische Wirkungen zu erhalten, aber sie gaben alle verneinende Resultate."

Auch Wetzlar (Schweigg. LVI. 218) hat durchaus negative Resultate bei über diesen Gegenstand angestellten Versuchen erhalten.

Nimmt man nun hierzu, daß auch schon bei früheren Versuchen eines der genauesten und umsichtigsten Physikers, nämlich Erman's (Gilbert XXVI. 139), durchaus keine Einwirkung des Magnetismus in dieser Art

*) Schweigg. J. LVI. 24.

wahrnehmbar gemacht werden konnte, so scheint es, daß man hinlänglich berechtigt ist, eine solche Einwirkung gegenwärtig für widerlegt anzusehen, und wir können es uns ersparen, die Versuche Zantedeschi's *), der noch neuerdings wiederum eine chemische Wirksamkeit des Magnetismus beobachtet haben will, anzuführen, um so mehr, da sie keine besondere Sorgfalt zu verrathen scheinen.

*) Bibl. ital. Aprile 1829. oder Baumg. Zeitschr. VII. [illegible]. Die frühere Literatur über diesen Gegenstand s. in Biot's Lehrb. V. 464.

# Siebenter Abschnitt.

## Elektromagnetismus.

### Elektromagnetischer Rotationsapparat für Flüssigkeiten *).

Folgender, von mir construirter, Apparat dürfte der einfachste sein, mittelst dessen sich die elektromagnetische Drehung von Flüssigkeiten nachweisen läßt:

Man läßt sich eine kupferne Schale verfertigen, die in der Mitte mit einer Art Dille von demselben Metall versehen ist, um mittelst derselben auf einen Magnetpol aufgesetzt werden zu können, wie Figur 56. im Durchschnitte zeigt. Um diese Dille legt man einen wohl anschließenden Ring (oder einen Hut) von Zink, den man auch gleich anlöthen lassen könnte. Dies ist der ganze Apparat. Gießt man nun eine Mischung von Salmiakwasser und Säure in diese Schale, so geht der Strom vom Zinkringe durch die Flüssigkeit zum Kupfer, und die Flüssigkeit dreht sich um den Ring in der, durch die bekannten Gesetze bestimmten, Richtung. Wendet man einen Hufeisenmagneten mit zwei Schalen von der beschriebenen Art an, so sieht man die Drehung der Flüssigkeit in beiden Schalen in entgegengesetzter Richtung erfolgen.

Man kann auch eine einzige ovale Schale mit zwei Dillen und zwei Zinkringen, die auf die Pole des Hufeisenmagnetes passen, anwenden, in welchem Falle ebenfalls die Drehung zunächst um jeden Zinkring in entgegengesetzter Richtung, als um den andern erfolgt, mehrere der leichten Körperchen aber auch (die zur deutlicheren Sichtbarmachung der Bewegung es zweckmäßig ist auf die Flüssigkeit zu streuen) sich zwischen beiden Zinkringen von einem zum andern schlingen.

*) Schweigg. LVII. 15.

Die Drehung ist jedenfalls in der Nähe des Zinkringes am schnellsten und verlangsamt sich von da nach der Peripherie zu. Wendet man Salmiakflüssigkeit mit etwas starkem Säurezusatz an, so erlangt sie unmittelbar um den Zinkring eine sehr namhafte Schnelligkeit. Man kann sich noch überdies zur Verstärkung der Kraft der Kette des Kunstgriffes bedienen, vor Anstellung des Versuches eine Schicht concentrirter Salmiakflüssigkeit in der Schale eintrocknen zu lassen.

Der Durchmesser der von mir angewandten einfachen Kupferschale ist 4 Pariser Zoll 3 Linien; der Durchmesser des um die Mitte gelegten Zinkringes 1 Zoll.

# Achter Abschnitt.

## Vom Lichte.

### I. Über das Licht im Allgemeinen.

#### Theorie des Lichtes.

Über die Darstellung der Erscheinungen des Lichtes nach der Undulationstheorie sind neuerdings mehrere wichtige mathematische Abhandlungen von Cauchy und Poisson erschienen, die ich jedoch zum Theil zu spät erhalten habe, um sie Behufs der hier zu gebenden Resultate mit der gehörigen Aufmerksamkeit durchgehen zu können. Ich verspare daher eine nähere Vergleichung des jetzigen Standpunctes des Undulationssystems und Emanationssystems des Lichtes, die sich an jene neueren Untersuchungen knüpfen wird, auf die nächste Lieferung dieses Repertoriums, und begnüge mich vorläufig, jene Abhandlungen namhaft zu machen.

*) Sollte ich Zeit gewinnen, so werde ich für künftige Beziehungen noch in dieser jetzigen Lieferung, zum Schlusse des Abschnittes vom Lichte, eine kurze Darstellung der Fundamentalsätze der Undulationstheorie beifügen, da sich auf die gewöhnlichen Lehrbücher in dieser Hinsicht so wenig verweisen läßt. Ich bemerke übrigens, daß derjenige, welchem die Mathematik nicht ganz fremd ist, die beste Quelle zur Belehrung über diese Theorie und Deutung der Erscheinungen nach derselben in Herschel's Werke „Vom Lichte", übers. von Schmidt, 1831 finden werde, welches Werk überhaupt in Bezug auf eine klare und gewählte Darstellung der ganzen Lichtlehre eine ausgezeichnete Empfehlung verdient. Zu bedauern ist nur die nicht geringe Zahl nicht angezeigter störender Druckfehler, die sich in der Übersetzung finden; und von denen mir nur eben folgende begegnet sind: Seite 310 Zeile 5 v. u. muß es statt: PB — PQ = AB heißen: PB — PQ = QB; ferner Seite 311 Zeile 14 v. u. fehlt: aus dem Mittelpuncte S vor: die Kugel XQ. Die zu §. 585. gehörige Figur 128. auf Tafel VI. ist leider so verzeichnet, daß sie mehr eine Verwirrung als Erläuterung dieses Paragraphes bewirkt. Andere Druckfehler, die mir darin vorgekommen sind, habe ich anzumerken vergessen.

Cauchy Application des formules qui représentent le mouvement d'un système de molécules sollicitées par des forces d'attraction ou de répulsion mutuelle à la théorie de la lumière in seinen Exercices de mathémat. V. 19.

Desselben Mémoire sur la théorie de la lumière. Première partie in Mém. de l'Acad. des sc. T. X. 1831. 293.

Poisson Mémoire sur le mouvement de deux fluides élastiques superposés in Mém. de l'Acad. ebend. 317.

Desselben Mémoire sur la propagation du mouvement dans les milienx élastiques ebend. 549.

Man wird beim Studium dieser Abhandlungen nöthig haben, auch auf Fresnel's frühere Untersuchungen über diese Gegenstände zurückzugehen, deren Literatur ich in Biot's Lehrb. V. 76 mitgetheilt habe. Dabei jedoch waren folgende Abhandlungen übergangen oder bloß Auszüge daraus angeführt, die ich hier nachtragen will.

über die Diffraction in den Mém. de l'Acad. V.

über die Doppelbrechung in den Mém. de l'Acad. VII. 45.

über die Polarisation in Ann. de Ch. et de Ph. XVII. 179, 312; oder Pogg. Ann. XXII. 68.

über das Gesetz der Modificationen, welche die Reflexion dem polarisirten Lichte einprägt, in Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 225 oder Pogg. Ann. XXII. 90.

## Verhältniß des Lichtes zur Wärme.

Sertürner hat eine Ansicht über das Verhältniß des Lichtes zur Wärme aufgestellt, deren Wesentliches in Folgendem besteht: Die Erde und ihre Atmosphäre erhält ihre Wärme nicht von der Sonne, und die Sonnenstralen haben nur das Geschäft, die Wärme von einem Orte zum andern zu übertragen, indem sie dieselbe anziehen und binden, und sie, wenn ihnen ein dunkler Körper im Wege steht, wieder frei geben. Das Vermögen des Lichtes, Wärme aufzunehmen, ist desto größer, je dichter es ist, und kommt daher dem schwachen Mondes- und Sternenlichte nur in geringem Grade zu, dem intensiven Sonnenlichte hingegen in so hohem Maße, daß es sogar, nachdem es schon auf dem Wege durch die Atmosphäre viele Wärme aufgenommen hat, doch noch im Stande ist, einem stärker erhitzten Körper Wärme zu entreißen; jedoch ist selbst die Kraft des concentrirten Sonnenlichtes, Wärme anzuziehen, nicht unbeschränkt.

Mittelst dieser Ansicht hat Sertürner die gewöhnlichen Wärmephänomene der Atmosphäre, namentlich den Thauproceß u. a., zu erklären gesucht. Indeß erhellt aus einer gehörigen Betrachtung der Erscheinungen leicht, daß Sertürner's Erklärung nicht einfacher ist als die, welche

*) Baumg. Zeitschr. V. 343.

auf die gewöhnlichen Ansichten über die Beschaffenheit und Verhältnisse des Sonnenlichtes und der stralenden Wärme gegründet wird, und Baumgartner *) hat hinreichend gezeigt, daß die Versuche, durch welche Gertürner diese Ansichten widerlegt zu haben glaubt, sich in der That sehr wohl mit denselben vereinbaren lassen. Ich halte es daher für unnöthig, auf Gertürner's Ansicht näher einzugehen.

### Über die geradlinige Bahn des Lichtes.

Gergonne **) macht darauf aufmerksam, daß, wenn man die geradlinige Bahn des Lichtes bloß dadurch für bewährt halten will, daß ein, in ein finsteres Zimmer durch ein im Laden angebrachtes Loch eintretender Lichtstral durch eine lange geradlinige Röhre hindurchgeht, wie lang man immer diese Röhre nehmen will, man im Grunde eine petitio principii begeht; denn was überzeugt uns, daß die Röhre selbst geradlinig ist? Der Augenschein kann hier nicht als Richter dienen; denn wäre zufällig die Bewegung des Lichtes krummlinig, so würde auch die Richtung der Axe der Röhre es sein müssen, um bei Stellung des Auges an einem ihrer Enden die in der Verlängerung dieser Axe liegenden Gegenstände sehen zu können; ja es würde dies sogar unzweifelhaft der Fall sein müssen, vermöge der atmosphärischen Brechungen, wenn die Röhre ausnehmend lang und nicht vertical wäre. Es reicht also zur Nachweisung der geradlinigen Bahn des Lichtstrales nicht hin, daß er wirklich durch die lange Röhre gehe, es muß noch die Bedingung hinzukommen, daß er auch nicht aufhört hindurchzugehen, wenn man die Röhre in zwei Ringen, in denen ihre Enden liegen, um sich selbst dreht.

### Über Bewegung des Lichtes in einem Mittel von veränderlicher Dichtigkeit.

Gergonne ***) hat auf mathematischem Wege bewiesen, daß, wenn das Licht sich in einem Mittel bewegt, dessen Dichtigkeit nach allen Richtungen von einem Puncte zum andern durch unmerkliche Differenzen variirt, und man dies Mittel als bestehend aus einer Reihe krummer Flächen betrachtet, in deren jeder die Dichtigkeit constant ist, folgende Sätze (im Sinne der Emissionstheorie) gelten:

1) die osculirende Ebene der vom Lichttheilchen beschriebenen Bahnlinie ist an jedem Puncte dieser Bahnlinie senkrecht auf die krumme Oberfläche, welche der Ort aller der Puncte des Mittels ist, die mit jenem Puncte gleiche Dichtigkeit haben;

2) die Projection der absoluten Geschwindigkeit des Lichttheilchens auf die Berührungsebene dieser Fläche an diesem Puncte ist constant oder ihr Differenzial null;

*) Baumg. V. 252.
**) Ann. de math. par Gergonne. XIX. 259.
***) Ebendas. 289.

8) diese absolute Geschwindigkeit ist dieselbe, als wenn das Licht, ohne ein Zwischenmittel, zu diesem Puncte gelangt wäre.

Aus diesen Sätzen lassen sich dann leicht die Bewegungsgleichungen des Lichtes in einem Mittel von beliebiger Beschaffenheit, in welchem die Dichtigkeit nach einem mathematischen Gesetze variirt, ableiten, und zwar wird der Verfasser dadurch zu folgenden sehr einfachen Gleichungen geführt:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 2k^2\frac{du}{dx},\quad \frac{d^2y}{dt^2} = 2k^2\frac{du}{dy},\quad \frac{d^2z}{dt^2} = 2k^2\frac{du}{dz}$$

Hierin ist u die optische Dichtigkeit des Mittels am Puncte (x, y, z), welche eine Function von x, y und z ist, $k^2$ eine constante Quantität, welche von der Wirkung des Mittels auf das Licht abhängt (von Laplace in s. Méc. céleste mit k bezeichnet),

$$\frac{dx}{dt},\ \frac{dy}{dt},\ \frac{dz}{dt}$$

die Projectionen der Geschwindigkeit des Lichttheilchens am Puncte (x, y, z) auf die rechtwinklichen Coordinatenaxen.

Mittelst obiger Gleichungen nun kann man sowohl die Umstände der Bewegung des Lichtes in einem Mittel von ungleichförmiger Dichte bestimmen, wenn das Gesetz, nach welchem diese Dichte variirt, bekannt ist, als auch dies Gesetz bestimmen, wenn die Umstände der Bewegung des Lichttheilchens gegeben sind.

Bezweckt man nicht, den Ort des Lichttheilchens in jedem Augenblicke seiner Bewegung zu kennen, sondern bloß, was in der Regel der Fall ist, die beschriebene Bahnlinie zu finden, so erhält man (x als unabhängige Variable gesetzt) für ihre Differenzialgleichungen:

$$(w^2 + 4k^2u)\frac{d^2y}{dx^2} = 2k^2\left(Q - P\frac{dy}{dx}\right)\left\{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2\right\}$$

$$(w^2 + 4k^2u)\frac{d^2z}{dx^2} = 2k^2\left(R - P\frac{dz}{dx}\right)\left\{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2\right\}$$

worin w die Geschwindigkeit des Lichtes im leeren Raume *),

$$P = \left(\frac{du}{dx}\right),\quad Q = \left(\frac{du}{dy}\right),\quad R = \left(\frac{du}{dz}\right)$$

*) u, w, $k^2$ sind durch folgende Gleichung verbunden:

$$V^2 - w^2 = 2k^2u,$$

worin V die Geschwindigkeit beim Anfange der Coordinaten.

## II. Erregung des Lichtes, Phosphorescenz.

### Über Leuchten und Erhitzung comprimirter Gase.

Folgendes sind die Resultate von Thénard's Untersuchungen hierüber:

1) Zusammendrückung an sich selbst ist nicht fähig, das Leuchten eines Gases zu bewirken.

2) Das Leuchten im Compressionsfeuerzeuge ist eine Verbrennungserscheinung oder Erscheinung chemischer Zersetzung an dem Öl oder Fett, womit das Leder des Stempels getränkt ist.

3) In verdichteter Luft entzünden sich brennbare Körper bei niederer Temperatur, als unter gewöhnlichem Drucke. Holz z. B., welches bei gewöhnlichem Drucke sich noch nicht bei 350° C. in Sauerstoffgas entzündet, bedarf bei einem Drucke von ungefähr $5\frac{1}{2}$ Atmosphäre höchstens 252° C. dazu.

4) Ein Gas, welches in einem Glasrohre möglichst stark zusammengedrückt wird, gelangt auf eine weit über 205° C. liegende Temperatur, auch wenn es kohlensaures Gas, Wasserstoffgas oder Stickgas ist.

5) Die Verdichtung der Luft und die Temperaturerhöhung durch den Act der Compression wirken daher nach 3) und 4) zusammen, die Entzündung brennbarer Körper im Compressionsfeuerzeuge zu bewirken, und geben einen vollgültigen Erklärungsgrund des dabei erscheinenden Lichtes.

Zu 1) und 2). Schon Saissy in Lyon machte, gegen Dessaignes, die Erfahrung, daß zwar Sauerstoffgas, Luft, Chlorgas im Compressionsfeuerzeuge durch Druck leuchtend werden, alle übrigen Gase, wie Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure, dagegen, selbst in der dicksten Finsterniß, bei einem heftigen Stoße lichtlos bleiben. Thénard überzeugte sich von der Richtigkeit dieser Beobachtung, und wurde dadurch zu der Vermuthung veranlaßt, daß das Leuchten im Compressionsfeuerzeuge überhaupt wohl nur von einer Art Verbrennungs- oder chemischem Processe abhängen möchte, insofern man sich zum Comprimiren des Gases gewöhnlich lederner Stempel bedient, die mit einem, von Wasser nur schwer benetzt werdenden, Fette getränkt sind, aus welchem der Sauerstoff oder das Chlor unter Mitwirkung der Temperaturerhöhung leicht etwas Wasser oder Salzsäure erzeugen kann.

Die Richtigkeit dieser Vermuthung gab sich dadurch zu erkennen, daß, als Thénard statt jener Stempel solche anwandte, welche keine solche zersetzende Wirkung gestatteten, auch die Lichterscheinung bei der Compression ausblieb.

Er ließ zu diesem Zwecke Stempel von Filz verfertigen, welche leicht vom Wasser benetzt werden, oder setzte auch auf den Lederstempel einen

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLIV. 181; Pogg. XIX. 442.

kleinen Metallcylinder, so daß alle unmittelbare Berührung zwischen dem Leder und dem Gase aufgehoben wurde. Anderemale nahm er einen Stempel, der unten aus Leder, in der Mitte aus Filz, und oben, aber nur in geringer Ausdehnung, aus Messing bestand. Er wandte dabei lange, sorgfältig kalibrirte und oben durch einen wohl eingeriebenen Glasstöpsel verschlossene, Röhren an, und bewerkstelligte die Compression, wie bei den gewöhnlichen Feuerzeugen, an einem möglichst dunkeln Orte, mit freier Hand sehr stark und plötzlich. Hatte man unter diesen Umständen den Filz oder Metallcylinder mit Wasser benetzt und die Glasröhre mit Kali gereinigt, so fand niemals eine Lichtentwickelung Statt; dagegen zeigte sich fast immer ein schwacher Schein, sobald der Filz nicht gut benetzt oder die Röhre schlecht gereinigt worden war.

Es war natürlich, diese Resultate mit den anderen Erscheinungen der Zusammendrückung, z. B. der Entzündung von Feuerschwamm, Holz, Papier rc., zu vergleichen. Es wurde daher oben auf dem Stempel, welcher sich in einen Cylinder von angefeuchtetem Filz oder von Messing endigte, ein Stück Papier angebracht. Dies fing im Sauerstoffgas augenblicklich Feuer und verbrannte mit sehr lebhaftem Glanze. Mit Öl getränkt brannte es noch leichter. Alle weißen, recht trockenen Holzsorten, und selbst das sehr harte Buchsbaumholz, entzündeten sich mit Lebhaftigkeit. Bei einem Versuche, wo der Cylinder mit einer Scheibe Buchsbaumholz bedeckt war, entzündete sich diese am Rande, obgleich kein anderer Körper da war, der die Entzündung hätte bedingen können. Einen sehr feinen Eisendraht zu verbrennen, versuchte jedoch der Verfasser vergebens.

Er stellte auch ähnliche Versuche mit Chlor an, und beobachtete, daß Papier, wenn es nur sehr wenig mit Öl getränkt war, glühend wurde, und daß sich Salzsäure dabei bildete. Nur gelingt es mit dem Papier nicht, eben so wenig wie mit dem Holze, wenn die Wirkung zu schwach oder zu langsam ist.

Zu 3). Der Verfasser fand, daß es unter dem atmosphärischen Druck unmöglich sei, Tannenholz bei 350° C. in Sauerstoffgas zu entzünden; es färbte sich bloß dunkelbraun; allein unter dem Drucke von 2,60 Metern (ungefähr 3½ Atmosphäre) fing es bei höchstens 252° C. Feuer.

Der Versuch wurde mit einer kleinen gebogenen Glasglocke angestellt, in deren krummen Theile sich das Holz befand, und die über Quecksilber mit Sauerstoffgas gefüllt ward. Der gebogene Theil war in ein Quecksilberbad getaucht, das auf einem Ofen stand, und die Glocke war mit einer sehr langen aufrecht gestellten Glasröhre mittelst einer sehr starken und gut ausgewählten Kautschoucröhre verbunden, die an die Glocke und Röhre festgebunden war. Der Druck wurde durch Einschütten von Quecksilber in die senkrechte Röhre erhalten, die Temperatur durch Erhitzen des Quecksilberbades.

Zu 4). Ein Gemenge von Knallquecksilber mit Sand, welches sich über Quecksilber (unter den Druck von 2,60 Meter) erhitzt bei 205°, und bei

gewöhnlichem Druck erst in viel höherer Temperatur, in kohlensaurem Gas, Wasserstoffgas oder Stickgas entzündete, detonirte auch, wenn es auf dem Stempel des Feuerzeuges, das mit dem irrespirablen Gase gefüllt war, angebracht wurde, bei Compression des Gases.

## Lichtentwickelung beim Kalklöschen und beim Vermischen des Vitriolöls mit Wasser.

Die Lichtentwickelung beim Kalklöschen ist schon öfters wahrgenommen worden, doch vermochte man sie nicht willkürlich hervorzurufen. Nach Göbel*) ist man auf folgende Weise jedesmal im Stande, sie zu bewirken. Man befreit gröblich gepulverten carrarischen Marmor durch Glühen von Kohlensäure und hebt ihn in verschlossenen Gläsern auf. Zwei Drachmen bis ½ Unze davon benetzt man in einer Schale mittelst des Spritzglases mit Wasser, so daß das Wasser als dünner Stral die Kalkkörnchen und plötzlich viele derselben berührt. Innerhalb weniger Secunden erfolgt dann ein hellrothes Erglühen der ganzen Masse, welches nicht selten 15 bis 25 Secunden dauert.

In einigen Fällen, doch nicht constant, bemerkte auch Göbel beim Vermischen des Vitriolöls mit Wasser, indem er ¼ Unze Säure plötzlich ins Wasser goß und ohne die Mischung umzurühren schnell gleiche Portionen folgen ließ, Lichtentwickelung. Diese Lichtentwickelung ist mehr ein Phosphoresciren und dauert nur wenige Secunden.

## Phosphorescenz von Talg.

Bauernfeind**), Besitzer einer Kerzenfabrik, machte, zufolge Kastner's Mittheilung, die Beobachtung, daß einige große Schöpsen- und Rindstalgmassen, als sie, um zerlassen zu werden, in tiefer Abenddämmerung aus ihren Holzbehältern herausgebrochen und zerschlagen wurden, dabei wenigstens so stark, wo nicht stärker, leuchteten, als ob es fester Hutzucker gewesen wäre, den man zerschlüge.

## Wirkung der Elektricität auf die durch Erwärmung phosphorescirenden Mineralien, von T. F. Pearsall***).

Aus den folgenden Versuchen geht hervor:

1) Wenn man Mineralien, welche von Natur die Eigenschaft besitzen, durch Erwärmung zu phosphoresciren, diese Eigenschaft durch Glühen nimmt, so erhalten sie dieselbe dadurch wieder, daß man elektrische Schläge über ihre Oberfläche hinweggehen läßt †), nicht aber durch Bestralung.

2) Es können selbst manche Mineralien, welche das Vermögen, durch

*) Schweigg. LVIII. 486.

**) Kastn. Arch. XVII. 370.

***) Journ. of the royal Inst. 1831. Nr. 1. p. 77; Nr. 2. p. 267; oder Pogg. XX. 252; XXII. 566; oder Baumg. Zeitschr. IX. 243; X. 110.

†) Dies hat schon Plac. Heinrich gefunden (Biot V. 282).

sauren Kalk elektrisirt und erhitzt wurde, gab er ebenfalls kein Licht; nachdem jedoch durch Rothglühen die organischen Materien in ihm zerstört, und nun 12 Entladungen darauf angewandt worden, entwickelte er bei Erhitzung verschiedenfarbiges Licht. — Durch Zerreiben von Flußspath wurde das Phosphorescenzvermögen desselben nicht beeinträchtigt, als aber krystallisirter Flußspath gepulvert, in Salzsäure aufgelöst, durch Ammoniak gefällt, getrocknet und in Rothglühhitze calcinirt worden, gab er kein Licht, auch nicht, nachdem er elektrisirt worden. Letztere salzsaure Auflösung setzte nach einiger Zeit kleine zerbrechliche Krystalle von Flußspath ab, die bei Erhitzung schwach decrepitirten und phosphorescirten.

Zu 6). Der Verfasser erwähnt als Beispiel dieses Umstandes, der ihm auch noch einige andere Male vorgekommen sei, insbesondere eines Flußspathkrystalles.

Zu 7). Die Belege hierzu wurden an Chlorophan, Austerschalen etc. erhalten.

Zu 8). Als 6 bis 7 Schläge auf ein Stück weißen, calcinirten, etwas gelblichen Flußspathes geleitet wurden, hatte dasselbe seine weiße Farbe in eine bläuliche verwandelt und das Phosphorescenzvermögen durch Wärme zeigte sich da am stärksten, wo die so mitgetheilte Farbe am deutlichsten war. Diese Phosphorescenz geschah mit blauer Farbe.

Einige Splitter und Bruchstücke von weißem Flußspath wurden in einem kleinen Haufen, in eine an beiden Enden offene Glasröhre, zwischen die, etwa 1 Zoll aus einander stehenden, Drähte des Entladers gebracht. Nach mehreren Schlägen hatten die weißen Splitter eine blaue Farbe erhalten, und als sie darauf erhitzt wurden, stralten sie ein starkes Licht von blaßgelber Farbe aus.

Große Stücke nahmen überhaupt beim Elektrisiren eine blaue Farbe an und gaben auch beim Erhitzen ein blaues Licht; wenn sie aber in kleine Stücke zerdrückt wurden, entwickelten sie, nach Elektrisirung in einer Röhre und nachheriger Erhitzung ein blaßgelbes Licht, wie bei den vorhergehenden Versuchen. Doch gaben in einigen Fällen auch die kleinen Stücke anfangs ein blaues und dann erst ein strohfarbenes Licht.

Bei späteren Versuchen beobachtete der Verfasser auch an Flußspathexemplaren die Entstehung einer blaßrothen Farbe, anstatt einer blauen. Die blaßrothe Färbung ist nach ihm am stärksten an den Kanten, schwach auf den Flächen; die blaue Färbung am stärksten an den Ecken der Stücke und den soliden Winkeln der Spalten.

Flußspathstücke, die von Natur am gefärbtesten sind, nehmen auch, nachdem sie durch Hitze weiß gemacht worden, am leichtesten wieder durch Elektricität eine Färbung an.

Die durch Elektrisirung hervorgebrachte blaue Farbe des Minerales schien sich an der Oberfläche oder nahe an derselben aufzuhalten; denn wenn so gefärbte Stücke zerbrochen wurden, waren sie inwendig farblos,

aber an den Rändern gefärbt. Die farblosen Theile phosphorescirten nicht, während es die farbigen und äußeren Theile thaten.

Die blaue Färbung war nicht permanent, manche Stücken verloren sie im Lichte in wenigen Tagen, andere, die im Dunkeln aufbewahrt wurden, zeigten sie noch nach zwei Monaten.

---

## III. Eigenthümliche Wirkungen des Lichtes.

---

### Wirkung auf Magnetismus.

Von den negativen Resultaten, die man neuerdings in Bezug auf diese, früher supponirte, Einwirkung erhalten hat, ist schon S. 46 die Rede gewesen.

### Chemische Wirkungen des Lichtes.

Döbereiner *) hat beobachtet, daß eine Auflösung von kleesaurem Eisenoxyd zwar an einem dunkeln Orte und in einer Temperatur von 100° C. keine sinnlich wahrnehmbare Veränderung erleidet; im Sonnenlichte aber unter Entbindung von kohlensaurem Gas kleesaures Eisenoxydul fallen läßt. Kleesaures Silberoxyd erleidet unter Wasser in der Wärme keine Veränderung, zerfällt aber am Sonnenlichte partiell in metallisches Silber und Kohlensäure; Iridiumsalmiak, Platinchlorid, Goldchlorid erleiden ebenfalls unter Mitwirkung von Kleesäure, am Lichte Veränderungen.

Auch Vogel (Pharm. Zeitschr. Nr. 10. S. 156) hat Versuche über die Einwirkung des Lichtes an einigen 20 organischen und unorganischen Stoffen angestellt, indem er sie 6 Monate hindurch, theils in offenen, theils in verschlossenen Gläsern und Papierkapseln an ein helles, nach Süden gelegenes, Fenster setzte. Seine Beobachtungen, die sich bloß auf Veränderungen in Farbe und Geruch dieser Substanzen durch das Licht beziehen, bieten jedoch kein besonderes Interesse dar.

### Versuche von Mark Watt.

Mark Watt **) hat Instrumente angegeben, welche eine große Wirkung des Lichtes auf leicht bewegliche Körper darzuthun dienen sollen. Das Hauptfactum, welches er mittelst derselben gefunden haben will, besteht darin, daß alle Körper von hinlänglicher specifischer Leichtigkeit, welche zwei platte flächenartige Seiten haben und sich frei bewegen können, immer die Ränder ihrer Flächen dem Ausströmungspuncte des Lichtes zukehren und ihre Flächen parallel der Einfallslinie werden.

*) Schweigg. LXII. 90.

**) Froriep's Notiz. Nr. 17. des XXI. Bandes oder Baumg. Zeitschr. IV. 229; V. 225.

Man kann indeß gegenwärtig mit Sicherheit annehmen, daß bei diesen allerdings Statt findenden Bewegungen das Licht an sich gar keine Rolle spiele, sondern der ganze Erfolg abhängig sei von der durch dasselbe bewirkten Erwärmung, wohin sich sowohl Muncke's Versuche, von welchen schon Th. I. S. 343 die Rede war, als Versuche, welche Pfaff *) mit den nach Watt's Angaben verfertigten Apparaten eigends angestellt hat, vereinigen. Pfaff nimmt hiebei an, die Erwärmung wirke durch Luftströmungen, die sie erzeuge, indeß wird es durch Muncke's Erfahrungen weit wahrscheinlicher, daß hiebei eine thermoelektrische Wirkung auf das Glas, welches die Apparate umschließt, im Spiele sei, indem nämlich das durch die Wärme elektrisch gewordene Glas die leichten Körper nach sich hin zieht.

Jedenfalls wollen wir nicht unterlassen, die Versuche Pfaff's, welche den wirklichen Einfluß der Wärme bei Watt's Apparaten darthun, anzuführen.

Pfaff wandte ein beinahe 8 Zoll langes Stück aus der Ruthe der Schwanzfeder eines Pfaues als Wagebalken an, welcher sich mittelst einer kleinen Agatpfanne, die, etwa bei ⅔ der Länge des Balkens von dem Anheftungspuncte der Scheiben, in ein in ersterem angebrachtes Loch eingefügt war, auf einer feinen Stahlspitze bewegte. Die an dem kürzeren Ende des Balanciers befestigte Scheibe wurde durch ein kleines Gewicht am andern Ende aufgewogen, und der auf diese Art im Gleichgewichte schwebende, höchst bewegliche Wagebalken konnte sich wie eine Compaßnadel bewegen. Die Scheiben, deren Pfaff sich bediente, waren: 1) zwei von den farbigen Spitzen der Schwanzfedern des Pfaues, die sogenannten Pfauenaugen, die mit ihren matteren Flächen an einander geleimt wurden; 2) eine Scheibe von Blattsilber, die ganz nach der von Matt Watt beschriebenen Art zugerichtet war und 2 Zoll im Durchmesser hatte; 3) eine ganz ähnliche Scheibe von Blattgold. Der Wagebalken mit den Scheiben, die nach der Reihe den Versuchen unterworfen wurden, befand sich unter einer großen Glocke, um jede Bewegung durch Luftzug ꝛc. zu vermeiden.

Es zeigte sich ihm nun allerdings jene Erscheinung, welche dem ersten Anscheine nach etwas höchst Auffallendes hat, daß nämlich, wenn bei vollkommener Ruhe des Wagebalkens eine Kerze in hinlängliche Nähe gegen die Glocke gebracht ward, von welcher aus die Stralen gegen die Scheiben so gerichtet waren, daß ihre mittlere Richtung entweder senkrecht oder schief auf die der Kerze zugekehrte Fläche der Scheiben traf, der Wagebalken sehr bald anfing sich in Bewegung zu setzen, und die Scheiben gegen die Kerze hinrückten, bis ihr Rand gegen den Ausgangspunct des Lichtes der Kerze, wie sich Matt Watt ausdrückt, gerichtet war, oder die mittlere Richtung der Stralen gegen die Glocke parallel mit den Flächen der Scheiben war. Dieser Erfolg trat bisweilen schon bei einer Entfernung der Kerze von einigen Schuhen ein. Daß aber diese ganze Bewegung

*) Schweigg. J. LVI. 82.

wirklich bloß von Erwärmung, unabhängig vom Einflusse des Lichtes, abhing, erhellte aus Folgendem:

Wenn sich Pfaff an der Seite, an welcher die Kerze gestanden und seine Wirkung hervorgebracht hatte, nach Entfernung derselben und nachdem der Wagebalken wieder in die vorige Lage gebracht worden, derselben näherte, so trat sogleich wieder dieselbe Bewegung ein. Ferner erfolgte, bei Anwendung einer Kerze, die Bewegung ganz eben so, wenn die, der Kerze gegenüber befindliche, Stelle der Glocke mit Kienruß geschwärzt war, so daß also das Hinzugelangen des Lichtes verhindert ward. Dagegen konnte Pfaff (gegen Watt's Behauptung) auch nicht die leiseste Bewegung der Scheiben beobachten, als er, sowohl zur Zeit des ersten oder letzten Viertels, als auch zur Zeit des Vollmondes, das Mondlicht in seiner gewöhnlichen Beschaffenheit, oder durch eine convexe Linse verdichtet, auf die Scheiben fallen ließ, eben so wenig, als er einen, durch eine convexe Linse hervorgebrachten, Stralenkegel jenseits des Focus in einer solchen Entfernung durch die Scheiben auffing, daß er bald ihre ganze Fläche bestralte, bald weniger divergirend nur die Hälfte oder ein Viertheil derselben bedeckte; es mochte nun die Axe des Stralenkegels senkrecht oder in einer beliebigen schiefen Richtung gegen die Fläche stehen.

Was mehrere andere, von Watt angeführte, sonderbare Erscheinungen anlangt, namentlich daß Gold- und Silberblättchen, wenn sie längere Zeit dem Lichte ausgesetzt werden, diese eigenthümliche Beweglichkeit durch das Licht verlieren; ferner, daß die Silberblättchen ganze Stunden hindurch eine schwingende Bewegung haben, vermöge welcher sie abwechselnd bald ihre Fläche, bald ihren Rand dem Lichte zukehren, so konnte Pfaff ebenfalls nichts davon bemerken.

---

# IV. Photometrie.

---

## Photometer.

Von Ritchie *). Dies Photometer (Figur 13.) besteht aus einem Schirm von weißem Papier a b, welcher durch ein senkrecht darauf gesetztes schwarzes Kartenblatt c d in zwei Abschnitte getheilt und in einem Kästchen mit offenen Enden ausgespannt ist, so daß das von den verschiedenen zu untersuchenden Flammen ausgehende Licht von zwei schräg gestellten Spiegeln oder Papierflächen e f, e g aufgefangen und von diesen gegen den Papierschirm reflectirt wird. Am obern Theile des Apparates kann man eine Camera obscura von der Gestalt eines abgestumpften Kegels anbringen.

*) Philosoph. transact. 1829. oder Froriep's Notizen Nr. 1. des XXVIII. Bandes S. 7.

durch welche man den Schirm beobachtet und mittelst der alles fremdartige Licht, wodurch ein fehlerhaftes Ergebniß herbeigeführt werden könnte, ausgeschlossen wird. Um dies Instrument zu gebrauchen, bringt man die beiden zu prüfenden Lichter mit dem Photometer in dieselbe gerade Linie, so daß das letztere sich zwischen den erstern befindet, wie in Figur 18. zu sehen. Haben die Lichter nun gleiche Intensitäten, so werden sie dieselbe Wirkung hervorbringen, wenn sie gleich weit vom Instrumente abstehen. Haben sie dagegen ungleiche Intensitäten, so muß das Photometer mehr oder weniger gegen das schwächere Licht zugerückt werden, bis die Abtheilungen des Schirmes gleich stark beleuchtet sind, und dann werden sich die Leuchtkräfte der beiden Lichter verhalten wie die Quadrate der Abstände.

Dieses Instrument kann auch sehr gut dazu dienen, um die von durchscheinenden oder durchsichtigen Substanzen absorbirte Lichtquantität zu messen, indem man, nach vorheriger Gleichstellung der Beleuchtung, Glas, Papier rc. zwischen eins der Lichter und das Photometer bringt, und den Abstand mißt, um welchen das Instrument weiter von dem einen und näher an das andere Licht gerückt werden muß, um die Beleuchtung der beiden Abtheilungen des Schirmes wieder gleich zu machen.

Von Potter *). Potter hat sich zu seinen Versuchen über die Lichtmenge, welche Metallspiegel bei verschiedenen Einfallswinkeln reflectiren, folgenden Photometers bedient, welches im Princip mit dem vorigen übereinkommt.

Ein horizontaler Tisch ist durch eine verticale, der Länge nach senkrecht auf der Tischplatte stehende, undurchsichtige Papierplatte in 2 Theile getheilt, und an einem Ende des Tisches steht, senkrecht sowohl auf dem Tische als auf der verticalen Platte, eine andere undurchsichtige Wand, die aber in der Mitte ein viereckiges, $2\frac{1}{2}$ Zoll hohes, 4 Zoll langes Loch hat, das mit feinem Papier überdeckt ist. Stellt man in jede der zwei Abtheilungen des Tisches eine Kerzenflamme, so beleuchtet jede eine Hälfte des Papieres auf der viereckigen Öffnung, und man sieht hinter dem Papiere diese beiden Hälften durch den Schatten der Scheidewand von einander getrennt, kann aber leicht durch Annähern oder Entfernen der einen oder andern Lichtquelle die Beleuchtung beider Hälften auf gleiche scheinbare Stärke bringen; worauf sich die Lichtstärken wie die Quadrate der Entfernung der betreffenden Flammen von der Öffnung verhalten werden.

## Über die Intensität des Lampen- und Kerzenlichtes, und ihre Veränderungen während des Brennens.

Die Umstände bei Einrichtung der Lampen, von welchen die Intensität ihres Lichtes abhängt, sind nach Peclet **) folgende: 1) der innere Durchmesser des Dochtrohres; 2) das Verhältniß der beiden Luftströme; 3) die

*) Edinb. J. of sc. Nr. VI. p. 280 oder Baumg. Zeitschr. IX. 217.
**) Erdm. J. I. 166.

Höhe der bauchigen Erweiterung des Cylinders; 4) der Durchmesser des Cylinders oberhalb der Erweiterung; 5) die Höhe des Ölbehälters; 6) die Höhe des Dochtes über dem Rohre.

Die Umstände andererseits, welche vorzüglich auf Veränderungen der Intensität des Lichtes während der Verbrennung Einfluß haben, sind nach demselben folgende:

1) Die Erhitzung des Dochtrohres und des Cylinders; 2) das Verhältniß der beiden Luftzüge; 3) das Niedrigerwerden des Ölniveaus; 4) die größere oder geringere Capillarwirkung in dem Raume um den Docht herum.

Der Verfasser hat den Einfluß aller dieser Umstände speciell erörtert und photometrische Belege hinzugefügt. Wir verweisen über diesen, zu sehr in das Gebiet der Technik überführenden, Gegenstand auf die Originalabhandlung, werden aber die Beobachtungen selbst über die Änderungen der Intensität und die Vergleichung derselben bei verschiedenen Lichtern, die der Verfasser gemacht hat, hier hinzufügen. Über die Art, wie der Verfasser seiner photometrischen Beobachtungen anstellte, die sich nicht von den bekannten Arten unterscheidet, verweisen wir ebenfalls auf die Originalabhandlung.

Veränderungen in der Lichtintensität einer Uhrlampe *), die Intensität beim Anzünden = 100 gesetzt.

| Zeit nach dem Anzünden der Lampe. | Lichtintensität der Lampe. |
|---|---|
| Anfang | 100 |
| 1 Stunde | 103 |
| 2 — | 116 |
| 3 — | 116 |
| 4 — | 117 |
| 5 — | 117 |
| 6 — | 117 |
| 7 — | 117 |

Es erhellt aus dieser Versuchstabelle, daß die Intensität der Lampe, welche fortwährend angezündet blieb, während der ersten 4 Stunden im Wachsen war, dann aber sich gleich blieb. Später machte der Verfasser

*) Diese von Carcel und Carreau erfundenen Lampen, deren Docht beständig durch ein mit ihnen verbundenes Uhrwerk mit einer mehr als hinreichenden Menge Öl versehen wird, als zur Verbrennung nöthig ist, geben, wie aus dem Obigen selbst erhellt, einige Stunden, nachdem sie angezündet worden sind, ein ganz gleichbleibendes Licht, weßhalb sich auch der Verfasser ihrer zur Vergleichung der Intensität anderer Lichter (mittelst Gleichmachens der Schatten) bedient hat.

auch bei allen Lampen anderer Art die Bemerkung, daß sie beim Anfange des Brennens an Intensität zunehmen, nur daß diese Zunahme bei Weitem nicht so lange dauert. Die Ursache dieser Erscheinung ist in dem zu Anfange der Verbrennung Statt findenden Wärmeverlust, erzeugt durch die noch kalten Umgebungen der Flammen, zu suchen, der nach einiger Zeit aufhört. Bei den gewöhnlichen Lampen wird dieser Wärmeverlust durch die Erhitzung der Dochthülse und des Rauchfanges bedingt, die eine gewisse nach und nach abnehmende Wärme einschlucken. In der Carcel'schen Uhrlampe sind es das Öl und der Rauchfang, welche der Flamme in den ersten Stunden des Brennens Wärme entziehen, und da die Erwärmung des Öles nicht eher zu steigen aufhört, als bis das Öl im Behälter dieselbe Temperatur angenommen hat, als dasjenige, welches sich über den Docht ergießt, so begreift sich hieraus, warum hier die Lichtstärke erst nach längerer Zeit bleibend wird.

Veränderungen in der Intensität eines ungeputzten gewöhnlichen Talglichtes (6 auf das Pfund), vom Maximum derselben angefangen.

| Zeit der Beobachtung. | Intensitäten, verglichen mit der bei der ersten Beobachtung = 100. |
|---|---|
| 0 Minuten | 100 |
| 5 — | 92 |
| 13 — | 50 |
| 15 — | 41 |
| 19 — | 38 |
| 21 — | 34 |
| 23 — | 32 |
| 28 — | 25 |
| 31 — | 20 |
| 33 — | 19 |
| 35 — | 17 |
| 39 — | 14 |
| 43 — | 14 |

Binnen ½ Stunde sank also die Intensität des Lichtes von 100 auf 20 und in 39 Minuten von 100 auf 14; dann blieb sie merklich unverändert. Putzte man das Licht, so nahm es die ursprüngliche Intensität von 100 wieder an.

Rumford fand die Intensität einer Talglichtflamme in 11 Minuten von 100 auf 39 vermindert, in 19 Minuten auf 23, in 29 Minuten auf 16. Daß Peclet geringere Veränderungen beobachtete, rührt wahrscheinlich von der verschiedenen Beschaffenheit der gebrauchten Lichter her.

Die vorzüglich aus Stearin bestehenden sogenannten Sparlichter (chandelles économiques) zeigen diese Veränderungen in noch bei weitem geringern Grade, als oben für die gewöhnlichen Talglichter angegeben worden; da ihr Licht sich nach Peclet in 30 Minuten von 100 bloß auf 32 vermindert, während das der gewöhnlichen Lichter in derselben Zeit schon auf 20 sinkt. In etwa doppelt so langer Zeit als die gewöhnlichen Lichter erreichen aber auch sie eine Unveränderlichkeit, welche in demselben Verhältnisse zum Maximum der Lichtstärke steht, wie bei den gewöhnlichen Lichtern. Das dann eingetretene constante Lichtminimum kann durch Entstehung von Schwämmen an dem Dochte noch tiefer herabsinken; wenn diese aber verbrennen oder abfallen, so nimmt das Licht seine vorige gleichbleibende Intensität wieder an.

Um zu erfahren, ob wirklich, wie man behauptet, ungeputzte Lichter mehr Talg verzehren als geputzte, wog Peclet zwei Lichter aus demselben Paquete und ließ sie 4 Stunden lang brennen, während welcher Zeit das eine regelmäßig geputzt wurde, das andere aber nicht. Als sie nachher aufs Neue gewogen wurden, fand sich, daß das erste 31 Grammen verloren hatte, das zweite aber 31,35 Grammen. Mehrere andere Versuche gaben ein gleiches Resultat, wonach die Zunahme der Consumtion bei ungeputzten Lichtern nur sehr klein ist.

In Bezug auf Kerzen aus Wachs und ähnlichen Substanzen erhielt der Verfasser durch eine große Anzahl von Versuchen folgende Resultate:

Wenn man eine Wachs-, Stearinsäure- oder Wallrathkerze mit sehr kurzem Dochte anzündet, so nimmt die Intensität ihres Lichtes zu, bis der Docht so lang geworden ist, daß er aus dem weißen Theile der Flamme hervorragt, und dann hat die Lichtstärke ihr Maximum erreicht. Bilden sich dann keine Schwämme, so bleibt das Licht unveränderlich, geschieht dies aber, so wird das Licht einige Minuten lang schwächer, bis die Schwämme verzehrt sind, und dann erreicht die Lichtstärke wieder ihr Maximum. Dieses Ab- und Zunehmen erfolgt mit einer ziemlichen Regelmäßigkeit; indeß ist es nur an den Stearinsäurekerzen einigermaßen bemerklich, und auch hier nur schwach und von kurzer Dauer.

Maxima der Intensitäten verschiedener Kerzen, verglichen mit einer Uhrlampe, welche 42 Grammen Öl in der Stunde verzehrt, deren Intensität = 100 gesetzt.

| | |
|---|---|
| Uhrlampe | 100 |
| Wachskerze | 15,61 |
| Wallrathkerze | 14,40 |
| Stearinsäurekerze | 14,30 |

Verhältniß der Intensitäten von Talglichtern und verschiedenen anderen Kerzen, nebst stündlicher Consumtion und Kosten der Beleuchtung, verglichen mit der obigen Uhrlampe, deren Intensität = 100 gesetzt ist *).

| | Intensitäten. | Verbrauch in 1 Stunde in Kilogrammen. | Preis des Kilogrammes. | | Kostenaufwand in 1 Stunde. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Francs. | Cent. | Francs. | Cent. |
| Talglicht (6 auf d. Pf.) | 10,66 | 8,51 | 1 | 40 | — | 12 |
| — (8 — —) | 8,74 | 7,51 | 1 | 40 | — | 10 |
| Sparlicht (5 — —) | 7,50 | 7,42 | 2 | 40 | — | 17 |
| Wachslicht (5 — —) | 13,61 | 8,71 | 7 | 60 | — | 66 |
| Wallrathkerze (6 —) | 14,40 | 8,92 | 7 | 60 | — | 68 |
| Stearinsäurek. (5 —) | 14,40 | 9,33 | 6 | 0 | — | 55 |

Man ersieht aus dieser Tabelle:

1) daß, wenn man die Lichter 6 und 8 auf das Pfund, in Beziehung auf Leuchtkraft und Consumtion, vergleicht, die Consumtion im Verhältniß zum Lichte bei letztern größer als bei erstern ausfällt;

2) daß die vermeintlichen Sparlichter eigentlich keine sind, da sie mehr in der Stunde kosten als die gemeinen Lichter, und dabei weniger leuchten; doch haben sie den Vorzug, daß sie weniger rinnen als die gewöhnlichen, trockener und weißer sind, keinen so unangenehmen Geruch haben und nicht so oft geputzt zu werden brauchen;

3) daß die stündlichen Kosten der Beleuchtung mit Wachs- und Wallrathkerzen wenig verschieden sind.

Der Verfasser hat auch die Intensitäten des Lichtes von 11 Öllampen verschiedener Einrichtung verglichen, und in Bezug zur Ölconsumtion derselben betrachtet, um so zum Schlusse zu gelangen, welches Verfahren der Verbrennung das meiste Licht mit den verhältnißmäßig wenigsten Kosten gewährt. Hinsichtlich dieser Vergleichung verweisen wir auf die Originalabhandlung, da ihre Anführung ohne nähere Angaben der Beschaffenheit und Dimensionen der verglichenen Lampen nutzlos sein, diese Angabe aber zu viel Platz wegnehmen würde. Aus der Gesammtheit dieser Vergleichung ergab sich übrigens, daß unter allen verglichenen Beleuchtungsarten, zu denen der Verfasser noch die Flamme vom Ölgas gefügt hat, die Beleuchtung mit Wachskerzen die theuerste, die Beleuchtung mit Ölgas die billigste ist, in so weit dabei bloß auf die Kosten des verzehrten Materials Rücksicht genommen wird.

*) Als Intensität der Talglichter wurde ihre mittlere Lichtstärke aus 10 Minuten genommen, da man diese in der Regel so lange brennen läßt, ohne sie zu putzen. Bei den übrigen Kerzen ist das constante Maximum angegeben.

Auch Drummond hat mittelst der Methode der Schatten (nach Rumford) und der Methode der gleich beleuchteten Flächen (nach Ritchie) die Intensität mehrerer Lichtarten verglichen, wobei die Intensität einer, mit dem feinsten Wallrathöl versorgten, Argand'schen Lampe von $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser = 1 gesetzt ward. Durch Schirme mit Öffnungen ward bewirkt, daß von jeder Flamme nur eine gleiche Größe zur Vergleichung zugezogen ward.

| | Intensität des Lichtes bei gleichem Umfange. |
|---|---|
| Argand'sche Lampe . . . . . . . . . . . | 1 |
| Französische Lampe (french Lamp) . . . . . . | 4,0 |
| Ölgaslampe (Oil gas burner) . . . . . . | 0,85 |
| Licht nach Drummond's Methode durch Kalk *) | 264,1 |

Eine ausführliche Abhandlung von Drummond über die Anwendung des nach seiner Methode erzeugten Lichtes bei Leuchtthürmen, die nach vorläufigen Versuchen günstige Resultate gegeben zu haben scheint, s. Philosoph. transact. 1830. P. I. p. 383.

Bei Versuchen, welche Taylor **) in York über das Verbrennen des Steinkohlengases anstellte, hat derselbe u. a. das Resultat erhalten, daß, wenn man auf den Glascylinder einer Gasflamme, die aus einem Brenner von Argand'scher Construction hervorkommt, ein Drahtgewebe legt, sich alsdann die Flamme um das Zwiefache ihrer anfänglichen Höhe vergrößert und noch einmal so viel Licht giebt, als vorhin. Auch fand er, daß sechs Argand'sche Gasflammen, die bei gewöhnlicher Einrichtung 100 Cubikfuß Gas innerhalb 3 Stunden 25 Minuten verbraucht hatten, mit einer Kappe von Drahtgewebe versehen, nur 50 Cubikfuß Gas in derselben Zeit verzehrten.

Versuche über die Art, wie Kerzendochte am zweckmäßigsten aus mehreren Fäden zusammenzusetzen sind, um den Vortheil einer möglichst hellen Flamme zu erlangen, hat Reid angestellt. Da sie mehr von technischem, als physikalischem Interesse sind, so verweisen wir auf die Originalabhandlung in Edinb. J. of sc. 1830. Jul. 337 oder Erdmann's J. IX. 451.

---

## V. Zurückwerfung des Lichtes.

### Reflexionsvermögen des Glases.

Faraday maß mittelst einer geeigneten Vorrichtung den Verhältnißtheil Licht, welchen verschiedene Glassorten bei einem Einfallswinkel von

*) Dadurch erzeugt, daß man eine durch Sauerstoff und Wasserstoff genährte Flamme gegen Kalk richtet.

**) Pogg. XV. 518 oder Erdmann's J. V. 282.

45°. von der Vorderfläche zurückwerfen. Die Intensität des einfallenden Lichtes (Lampenlicht) ist gleich 1 gesetzt:

| | | Zurückgeworfenes Licht |
|---|---|---|
| Glas aus 112 Bleioxyd, 8 Kieselerde, 36 Borarsäure | | $\frac{1}{11,8}$ |
| Glas aus 112 Bleioxyd, 16 Kieselerde, 36 Borarsäure | | $\frac{1}{14,4}$ |
| Glas aus 112 Bleioxyd, 12 Kieselerde, 36 Borarsäure | | $\frac{1}{16,5}$ |
| Flintglas | | $\frac{1}{19,5}$ |
| Drei verschiedene Sorten Kronglas | a | $\frac{1}{22,1}$ |
| | b | $\frac{1}{23,2}$ |
| | c | $\frac{1}{24,2}$ |
| Zwei verschiedene Sorten Tafelglas | a | $\frac{1}{25,8}$ |
| | b | $\frac{1}{26,0}$ |

Wenn man das Brechungsverhältniß von Glas oder anderen durchsichtigen Substanzen kennt, so kann man nach einer von Fresnel auf theoretische Beobachtungen gegründeten Formel (Pogg. XXII. 100) den Verhältnißtheil Licht berechnen, der bei verschiedenen Einfallswinkeln an den ersten Oberflächen dieser Körper zurückgeworfen wird. Diese Formel werden wir nachher anführen; hier aber wollen wir eine Tabelle mittheilen, welche von Brewster (Pogg. XXII. 293) nach dieser Formel für Glas, dessen Brechungsverhältniß = 1,525, berechnet worden ist. Die Anzahl der einfallenden Stralen oder die Intensität des einfallenden (nicht polarisirten) Lichtes ist hierbei = 100 gesetzt.

| Einfallswinkel. | | Brechungswinkel. | | Reflectirte Lichtmenge, die einfallende = 100 gesetzt. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0′ | 0° | 0′ | 4,325 |
| 5 | 0 | 1 | 18⅔ | 4,326 |
| 10 | 0 | 6 | 32 | 4,339 |
| 20 | 0 | 12 | 58 | 4,341 |
| 25 | 0 | 16 | 5 | 4,364 |
| 30 | 0 | 19 | 8½ | 4,478 |
| 35 | 0 | 22 | 6 | 4,633 |
| 40 | 0 | 24 | 56 | 4,910 |
| 45 | 0 | 27 | 37½ | 5,366 |
| 50 | 0 | 30 | 9 | 6,136 |
| 56 | 45 *) | 33 | 15 | 7,950 |
| 60 | 0 | 34 | 36 | 9,331 |
| 65 | 0 | 36 | 28 | 12,486 |
| 70 | 0 | 38 | 2 | 16,267 |
| 75 | 0 | 39 | 18 | 25,756 |
| 78 | 0 | 39 | 54 | 32,995 |
| 78 | 7 | 39 | 55 | 33,320 |
| 79 | 0 | 40 | 4 | 35,927 |
| 80 | 40 | 40 | 13 | 39,170 |
| 82 | 4 | 40 | 35 | 49,944 |
| 84 | 0 | 40 | 42 | 56,032 |
| 85 | 0 | 40 | 47 | 61,623 |
| 85 | 50⅓ | 40 | 50⅓ | 66,644 |
| 86 | 0 | 40 | 51 | 67,626 |
| 87 | 0 | 40 | 54 | 74,411 |
| 88 | 0 | 40 | 57½ | 81,990 |
| 88 | 0 | 40 | 58 | 90,481 |
| 90 | 0 | 40 | 68 | 100,000 |

Die Formel, nach welcher vorstehende Tabelle berechnet ist, ist zwar nach theoretischen Betrachtungen hergeleitet, doch können die Data, die ihrer Herleitung zu Grunde liegen, als der reine Ausdruck von Umständen angesehen werden, welche durch Versuche entweder ermittelt oder bestätigt worden sind, und so läßt sich von ihr vermuthen, daß sie der Erfahrung wirklich entsprechen werden, wiewohl sie Bestätigungen durch dieselbe wirklich erst noch erwartet.

Potter **) hat zwar neuerdings das Reflexionsvermögen verschiedener Glassorten unter verschiedenen Einfallswinkeln geprüft, allein er hat

*) Winkel des Polarisationsmaximum.

**) Brewster Edinb. J. of sc. 1831. Janv. p. 57.

das Brechungsverhältniß derselben dabei nicht angegeben *), daher seine Resultate sich nicht direct mit den Resultaten der Fresnel'schen Formel vergleichen lassen; so viel erhellt allerdings, daß die Potter'schen Resultate sämmtlich kleiner als die in der vorigen Tabelle sind; indeß könnte dies möglicherweise von einer mißlichen Complication des, im Wesentlichen mit dem S. 84 beschriebenen, übereinstimmenden photometrischen Verfahrens, bei dem jedoch noch eine Hülfsvorrichtung angewandt wurde, um die Quantität des fremdartigen zurückgeworfenen Lichtes schätzen und in Abzug bringen zu können, herrühren. Das Resultat seiner Versuche selbst ist folgendes:

Reflectirte Stralen von 100 einfallenden Stralen, an der ersten Oberfläche **).

| Einfallswinkel. | Crownglas von 2,541 spec. Gew. | Tafelglas von 2,511 spec. Gew. | Flintglas von 3,225 spec. Gew. |
|---|---|---|---|
| 10° | 3,66 | 3,68 | 3,82 |
| 20 | 3,82 | 3,74 | 4,13 |
| 30 | 4,17 | 4,09 | 4,45 |
| 40 | 4,49 | 4,40 | 4,84 |
| 50 | 5,25 | 5,57 | 6,30 |
| 60 | 7,76 | 8,00 | 8,89 |
| 70 | 13,70 | 14,06 | 17,06 |
| 80 | 33,73 | 34,30 | 35,68 |
| 85 | 54,57 | 54,59 | 57,27 |

Potter hat diese Beobachtungen auch durch eine empirische Formel zu repräsentiren gesucht ***), welche folgende ist:

$$y = a + \frac{c^2}{r + b - x}$$

worin y die Quantität des zurückgeworfenen Lichtes ist, wenn die des einfallenden = r; x der Einfallssinus; a, b, c durch die Versuche zu bestimmende Größen. Ungeachtet die Berechnung nach dieser Formel mit den angeführten Versuchen recht wohl übereinstimmt, so gestehe ich doch, daß mir die Form derselben nicht sehr glücklich gewählt scheint, und die oben angegebene, auf die Natur der Erscheinungen selbst gegründete, ist unstreitig richtiger †).

*) Bloß das ist angegeben, daß das Brechungsverhältniß des Tafelglases etwas größer als das des Crownglases war.

**) Das Glas dieser Versuche war frisch abgerieben und polirt worden.

***) Die Brewster-Fresnel'sche kannte er unstreitig nicht.

†) Potter bestimmt die Werthe in seiner Formel von a, b, c für obige Versuche folgendermaßen:

Potter hat auch geprüft, wie viel von beiden Oberflächen des Glases zusammengenommen an Licht zurückgeworfen ward, ferner wie viel durch beide Oberflächen hindurchging. Durch Abzug beider Quantitäten von der Gesammtheit des einfallenden Lichtes ergab sich dann die Quantität Licht, welche vom Glase verschluckt worden. Folgendes sind die Resultate dieser Versuche; die Quantität des einfallenden Lichtes wiederum = 100 gesetzt.

| Einfallswinkel. | Von beiden Oberflächen zusammen zurückgeworfenes Licht. | Durch beide Oberflächen durchgehendes Licht. | Verschlucktes Licht. |
|---|---|---|---|
| Bei Crownglas von ungefähr $\frac{1}{17}$ Engl. Zoll Dicke. | | | |
| 0° | — | 86,83 | — |
| 10 | 6,60 | 87,10 | 6,30 |
| 20 | 6,83 | — | — |
| 30 | 7,40 | 85,02 | 7,58 |
| 40 | 8,34 | — | — |
| 50 | 9,71 | 81,52 | 8,77 |
| 60 | 12,97 | — | — |
| 70 | 23,00 | 70,79 | 6,21 |
| 80 | 42,50 | — | — |
| Tafelglas von ungefähr $\frac{1}{9}$ Zoll Dicke. | | | |
| 0° | — | 91,42 | — |
| 10 | 6,77 | 90,84 | 2,39 |
| 20 | 7,01 | — | — |
| 30 | 7,40 | 90,64 | 1,96 |
| 40 | 8,27 | 89,36 | 2,37 |
| 50 | 9,80 | 87,51 | 2,69 |
| 60 | 13,59 | 83,94 | 2,47 |
| 70 | 24,26 | 74,64 | 1,10 |
| 80 | — | 54,83 | — |

| | Crownglas | Tafelglas | Flintglas |
|---|---|---|---|
| a | 2,7 | 2,58 | 2,03 |
| b | 1,04 | 1,13 | 1,44 |
| c | $\sqrt{75}$ | 9 | 10 |

| Einfallswinkel. | Von beiden Oberflächen zusammen zurückgeworfenes Licht. | Durch beide Oberflächen durchgehendes Licht. | Verschlucktes Licht. |
|---|---|---|---|
| Flintglas von $\frac{1}{12}$ Zoll Dicke. | | | |
| 0° | — | 87,85 | — |
| 10 | 8,07 | 86,97 | 4,96 |
| 20 | 8,16 | — | — |
| 30 | 9,12 | 86,25 | 4,63 |
| 40 | 10,23 | — | — |
| 50 | 11,87 | 83,70 | 4,42 |
| 60 | 15,96 | — | — |
| 70 | 27,22 | 71,05 | 1,73 |
| 80 | — | 52,97 | — |

## Formeln von Fresnel, um die Intensität des von der ersten Oberfläche durchsichtiger, nicht krystallisirter Körper (wie Glas, Wasser ꝛc.), unter verschiedenen Einfallswinkeln, zurückgeworfenen natürlichen oder polarisirten Lichtes zu bestimmen.

Fresnel hat auf theoretische Betrachtungen, hinsichtlich deren wir auf seine eigenen Abhandlungen*) verweisen müssen, folgende, nachher von Brewster**) weiter erörterte, Formeln zur Bestimmung des Verhältnißtheiles Licht gegründet, der von der ersten Oberfläche durchsichtiger, nicht krystallinischer Körper zurückgeworfen wird.

Der Einfallswinkel im Folgenden heiße überall i, der Brechungswinkel i′, der Winkel, welchen die Polarisationsebene mit der Einfallsebene macht, (das Azimuth der Polarisationsebene gegen die Einfallsebene), sei a. Die Intensität oder Menge des einfallenden Lichtes werden überall = 1 gesetzt, die Intensität oder Menge des reflectirten heiße R.

I. Intensität des reflectirten Lichtes bei einfallendem natürlichen Lichte auf denselben Körper unter verschiedenen Einfallswinkeln i.

$$R = \frac{1}{2}\,\frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')} + \frac{1}{2}\,\frac{\tang^2(i-i')}{\tang^2(i+i')} \qquad (1)$$

(Pogg. XXII. 87. 100; XIX. 289).

II. Intensität des reflectirten Lichtes bei einfallendem natürlichen Lichte auf verschiedenen Körpern unter dem Polarisationswinkel i.

$$R = \frac{1}{2}\cos^2 2i \qquad (2)$$

(Pogg. XIX. 295).

*) Pogg. XXII. 68. 90.
**) Pogg. XIX. [illegible].

Diese Formel ergiebt sich aus der vorigen durch Berücksichtigung, daß in unserm Falle $i' = 90° - i$; (bekanntlich steht der unter dem Polarisationswinkel einfallende Stral auf dem gebrochenen stets senkrecht).

III. Intensität des reflectirten Lichtes, bei verschiedenen Einfallswinkeln, wenn das einfallende Licht vollständig, und zwar in einem Azimuth $= a$ gegen die Einfallsebene, polarisirt ist.

$$R = \frac{\sin^2 (i - i')}{\sin^2 (i + i')} \cos^2 a + \frac{\tang^2 (i - i')}{\tang^2 (i + i')} \sin^2 a \qquad (3)$$

oder

$$R = \frac{(\tang i - \tang i')^2}{(\tang i + \tang i')^2} \cos^2 a + \frac{\tang^2 (i - i')}{\tang^2 (i + i')} \sin^2 a \qquad (4)$$

oder

$$R = \frac{\sin^2 (i - i')}{\sin^2 (i + i')} \cos^2 a + \frac{(\sin 2i - \sin 2i')^2}{(\sin 2i + \sin 2i')^2} \sin^2 a \qquad (5)$$

Diese drei Formeln sind wesentlich identisch und bloß trigonometrische Transformationen von einander, von denen man je nach der Bequemlichkeit die eine oder andere anwenden kann. Man wird bemerken, daß diese Formeln zu Formel (1) zurückführen, wenn man $a = 45°$ setzt, wie man denn wirklich einen einfallenden natürlichen Stral als bestehend denken kann aus zwei rechtwinklich gegen einander und in einem Azimuth von 45° zu beiden Seiten gegen die Einfallsebene polarisirten Stralen.

(Pogg. XXII. 100).

IV. Intensität des reflectirten Lichtes, wenn das einfallende Licht vollständig und zwar in einem Azimuth $= a$ gegen die Einfallsebene, polarisirt ist, und wenn der Einfallswinkel der der vollständigen Polarisation ist.

$$R = \sin^2 a \qquad (6)$$

Diese Formel, welche die bekannte Malus'sche ist, ergiebt sich als besonderer Fall aus den unter III. angeführten, unter Berücksichtigung, daß in unserm Falle $i' = 90° - i$.

V. Intensität des reflectirten Lichtes, bei verschiedenen Einfallswinkeln, wenn das einfallende Licht vollständig und zwar nach der Einfallsebene polarisirt ist.

$$R = \frac{(\tang i - \tang i')^2}{(\tang i + \tang i')^2} \qquad (7)$$

oder

$$R = \frac{\sin^2 (i - i')}{\sin^2 (i + i')} \qquad (8)$$

Diese Formeln ergeben sich als besondere Fälle aus den unter III. angeführten, unter Berücksichtigung, daß für unsern Fall $\sin a = 0$, $\cos a = 1$.

(Pogg. XXII. 84, 97).

VI. Intensität des reflectirten Lichtes, bei verschiedenen Einfallswinkeln, wenn das einfallende Licht vollständig und zwar senkrecht auf die Einfallsebene polarisirt ist.

$$R = \frac{\text{tang}^2\,(i - i')}{\text{tang}^2\,(i + i')} \tag{9}$$

oder

$$R = \frac{(\sin 2\,i - \sin 2\,i')^2}{(\sin 2\,i + \sin 2\,i')^2} \tag{10}$$

Diese Formeln ergeben sich als besondere Fälle aus den unter V. angeführten, unter Berücksichtigung, daß für unsern Fall $\cos a = 0$, $\sin a = 1$.

(Pogg. XXII. 87, 98).

VII. Intensität des reflectirten Lichtes, bei verschiedenen Einfallswinkeln, wenn das einfallende Licht im Azimuth a gegen die Einfallsebene, aber unvollständig polarisirt ist.

Zum Verständniß der folgenden Formeln wird es nöthig sein, etwas über den Begriff der unvollständigen Polarisation vorauszuschicken, wiewohl wir später derselben noch ausführlichere Erörterungen besonders widmen werden.

Man kann für den Begriff der unvollständigen Polarisation zwei Vorstellungen, die übrigens zu gleichen Ergebnissen führen, zu Grunde legen.

a) Man denkt sich einen unvollständig polarisirten Stral als bestehend aus zwei Theilen, wovon der eine, den wir s nennen wollen, vollständig polarisirt ist, der andere $(1 - s)$ aber sich im natürlichen Zustande befindet *). In diesem Falle kann man R als Function von s folgendermaßen ausdrücken:

$$R = \frac{\sin^2(i - i')}{\sin^2(i + i')} \cdot \left(\frac{1 + s\cos 2a}{2}\right) + \frac{\text{tang}^2\,(i - i')}{\text{tang}^2\,(i + i')} \left(\frac{1 - s\cos 2a}{2}\right) \tag{11}$$

(Für natürliches Licht ist $s = 0$).

Diese Formel ergiebt sich durch Combination der Formeln (5), (7) und (9) nach der Betrachtung, daß dem Antheile natürlichen Lichtes, welchen man im unvollständig polarisirten Strale voraussetzt, sich zwei gleiche Antheile rechtwinklich auf einander polarisirten Lichtes substituiren lassen.

b) Man stellt sich (mit Brewster) den unvollständig polarisirten Stral als aus zwei vollständig polarisirten Bündeln bestehend vor, deren Polarisationsebenen einen gewissen schiefen Winkel mit einander bilden, welcher durch alle Zwischengrade von 0° an, wo die Ebenen zusammenfallen,

*) Dem letztern kann man dann wieder zwei rechtwinklich auf einander polarisirte Stralen substituiren.

und der Stral vollständig polarisirt ist, bis 90°, wo die Ebenen rechtwinklich auf einander sind und der Stral einem gar nicht polarisirten oder natürlichen äquivalent ist, variiren kann. Kennt man diesen Winkel (den wir $= 2u$ setzen wollen), wozu spätere Formeln führen werden, so ergiebt sich die Intensität des zurückgeworfenen Lichtes als Function desselben nach folgender Formel:

$$R = \frac{\sin^2(i-i')}{\sin^2(i+i')} \cos^2 u + \frac{\tang^2(i-i')}{\tang^2(i+i')} \sin^2 u \qquad (12)$$

Diese Formel stimmt, wie man sieht, ganz mit der Formel (9) überein, wenn man $u = a$ setzt.

(Pogg. XIX. 271).

## Reflexionsvermögen von Metallen.

Potter hat bei metallischen Planspiegeln *), von deren wirklicher Ebenheit er sich überzeugt hatte, gefunden, daß die Annahme, daß sie eine größere Quantität Licht bei großen als bei kleinen Einfallswinkeln zurückwerfen, ungegründet sei, indem vielmehr bei ihnen das Umgekehrte Statt findet. Seine Versuche wurden zu verschiedenen Zeiten mittelst des Photometers an zwei ebenen Spiegeln angestellt, deren einer A aus einer Composition von $14\frac{1}{2}$ Zinn gegen 32 Kupfer, der andere B aus Gußstahl bestand.

Folgendes sind die Resultate, die er mit diesen Spiegeln erhielt. Das zurückgeworfene Licht ist in Bruchtheilen des einfallenden ausgedrückt. Die Intensität desselben wurde mittelst seines Photometers bestimmt.

Spiegel A.

| Einfallswinkel. | Zurückgeworfenes Licht | | |
|---|---|---|---|
| | Versuch 1. | Versuch 2. | Versuch 3. |
| 10° | — | 0,6861 | 0,6642 |
| 20 | 0,6945 | — | — |
| 30 | — | 0,6658 | 0,6550 |
| 40 | 0,6679 | — | — |
| 50 | — | 0,6542 | 0,6473 |
| 60 | 0,6491 | — | — |
| 70 | — | 0,6512 | — |

*) Edinb. J. of sc. N. S. Vol. III. p. 278 oder Pogg. XXII. [illegible]

Spiegel B.

| Einfallswinkel. | Zurückgeworfenes Licht | |
|---|---|---|
| | Versuch 1. | Versuch 2. |
| 10° | 0,6052 | 0,5718 |
| 20 | — | 0,5564 |
| 30 | 0,5869 | 0,5549 |
| 40 | — | — |
| 50 | 0,5496 | 0,5329 |
| 60 | — | 0,5466 |

Es erhellt aus diesen Tabellen, daß die Differenzen kleiner werden, je mehr der Einfallswinkel zunimmt. Potter glaubt, daß sich nach diesen Versuchen die Quantität y des zurückgeworfenen Lichtes durch folgende Gleichung bestimmen lassen werde:

$$y = ax + b$$

wo die Quantität des einfallenden Lichtes = 1 gesetzt wird, b die bei senkrechtem Einfallen zurückgeworfene Quantität ist; a eine andere durch Versuche zu bestimmende constante Größe; x der Sinus des Einfallswinkels. Es scheint mir jedoch, daß die bei Abänderung des Einfallswinkels beobachteten Differenzen viel zu klein sind, um die Quantität des zurückgeworfenen Lichtes mit einiger Sicherheit als Function des Einfallswinkels daraus herzuleiten; überdies läßt sich nach anderweiten Betrachtungen mit ziemlicher Sicherheit a priori voraussetzen, daß eine Formel, wie die obige, das Gesetz nicht repräsentiren kann.

Potter *) bemerkt, daß Metallspiegel von dem Zurückwerfungsvermögen, was sie frisch polirt besitzen, bald ziemlich verlieren. Er fand dies mittelst photometrischer Versuche nicht nur an einem Spiegel aus einer Composition von 14½ Zinn und 32 Kupfer, sondern auch an einem Spiegel von Gußstahl bestätigt, indem er zu verschiedenen Zeiten nach ihrer Politur diese Versuche damit anstellte, und bloß jedesmal vor dem Versuche die Spiegel durch weiches Leder reinigte.

Derselbe hat über den Guß und die Politur der Spiegel für Teleskope eine Abhandlung bekannt gemacht **), hinsichtlich deren wir, da sie mehr technisch als physikalisch ist, auf das Original verweisen. Bloß Folgendes wollen wir daraus ausheben.

Für diejenige Legirung, welche das meiste Licht zurückwirft, erklärt der Verfasser die von Mudge, bestehend aus ungefähr 14½ Theil Zinn gegen 32 Theile Kupfer, was ungefähr 1 Atom Zinn gegen 4 Atome Ku-

*) Edinb. J. of sc. Jul. 1830. p. 282.
**) Ebend. 1831. Jan. p. 12.

pfer (nach Berzelius Atomgewicht) ist. Diese Legirung hat ein viel grösseres specifisches Gewicht, als das nach dem specifischen Gewichte ihrer Bestandtheile berechnete. Potter fand es bei verschiedenen Güssen von 8,6 bis 8,98 wechselnd. Zusatz von wenig Arsenik vermehrte zwar bedeutend die Härte der Legirung; doch gewährte er weder Vortheile hinsichtlich der Politur, noch vermehrte er, wie sich der Verfasser durch Messungen überzeugte, das Reflexionsvermögen.

Anstatt den Colcothar zur Politur der Spiegel durch Calcination des grünen Eisenvitriols zu bereiten, was sehr große und lang anhaltende Hitze erfodert, wenn wirklich alle Säure entfernt werden soll, fällt er den Vitriol mit Ammoniak und calcinirt dann. Das Nähere dieser Bereitungsart ist Folgendes:

Eine Quantität Eisenvitriol wird in Wasser gelöst und einige Tage stehen gelassen, damit sich die Unreinigkeiten setzen; darauf die klare Lösung in ein anderes Gefäß gegossen und Ammoniakflüssigkeit in Überschuß zugefügt. Der erhaltene Niederschlag wird auf einem Filter von Mausselin gesammelt und gut gewaschen, dann in Form eines dicken Teiges (mud) in einen, gegen Zutritt von Staub bedeckten, Tiegel gethan und zehn Minuten lang in schwacher Rothglühhitze erhalten, wo das Pulver fertig ist. Für Metall, welches ein härteres Pulver erfodert, muß es längere Zeit erhitzt werden; und man kann es solchergestalt von beliebiger Härte erhalten. — Der Verfasser giebt der Ammoniakflüssigkeit deshalb den Vorzug vor kohlensaurem Kali oder kohlensaurem Natron als Fällungsmittel, weil kohlensaures Eisen, wenn es im Polirpulver vorhanden ist, den Spiegel auf eine eigenthümliche Weise angreift. Doch vermochte er auch ein gutes Pulver bei Fällung mit Perlasche zu erhalten, wenn es zu verschiedenen Malen erhitzt und jedesmal Wasser auf das rothglühende kohlensaure Eisen getröpfelt wurde.

## Heliostat.

In Poggendorff's Annalen XVII. 71 ist eine neue Einrichtung des Heliostaten durch Gambey, nebst Theorie desselben, mitgetheilt. Dieser Heliostat unterscheidet sich von früheren vortheilhaft durch folgende Umstände: 1) kann der Beobachter, bevor er denselben gebraucht, die respective Lage der beweglichen Theile, aus denen er besteht, genau prüfen; 2) ist das Instrument durch bloße Kenntniß der Breite des Beobachtungsortes und der der Beobachtungszeit entsprechenden Declinationen der Sonne leicht zu orientiren; 3) ist der Regulator nicht ein freischwebendes Pendel, welches der Wind im Gange stören kann, sondern in einer Uhr befindlich.

Wegen der Umständlichkeit der Darstellung des Gebrauches und der Theorie dieses Instrumentes verweisen wir hinsichtlich der nähern Kenntniß desselben auf die Originalabhandlung.

---

## VI. Einfache Brechung des Lichtes.

### Brechungsverhältnisse verschiedener Körper.

Folgende Brechungsverhältnisse hat neuerdings Herschel *) bestimmt:

| Stoffe. | | Brechungsverhältniß. |
|---|---|---|
| Chlorschwefel | | 1,670 |
| Salpetersaures Wismuth, | | |
| | geringste | 1,670 |
| | stärkste Brechung ungefähr | 1,890 |
| Unterschwefligsaures Natron-Silber, | | |
| | geringste | 1,735 |
| | stärkste Brechung | 1,785 |
| Spinell-Rubin | | 1,756 |
| Rubellit | | 1,756 |
| Labrador-Hornblende | | 1,800 |
| Bleisilicat (gleiche Atome Blei und Kieselerde) | | 2,123 |
| Salpetersaures Blei (quadro-nitrate), sechsseitige Prismen, gewöhnliche Brechung | | 2,322 |

Auf folgende, schon früher von Euler **) mit großer Sorgfalt bestimmte, jedoch bis jetzt wenig beachtete, Brechungsverhältnisse, macht neuerdings Marx ***) aufmerksam. (Die Lösungen waren stets in 1 Unze Regenwasser gemacht.)

Brechungsverhältnisse bei 12° R. aus Luft in:

| Stoffe. | Brechungsverhältniß. |
|---|---|
| Destillirtes Wasser | 1,3358 |
| Regenwasser | 1,3358 |
| Brunnenwasser | 1,3364 |
| Franzwein | 1,3455 |
| Franzbranntwein | 1,3602 |
| Eine stärkere Sorte | 1,3632 |
| Rectificirter Weingeist | 1,3684 |
| Starker rectificirter | 1,3706 |
| Eiweis | 1,3685 |
| Destillirter Essig | 1,3442 |
| Lösung von arabischem Gummi | 1,3467 |
| Lösung von weißem Zucker | 1,3457 |

*) Brewster's J. of sc. 1829. XX. 296 oder Kastn. N. Arch. II. 117.

**) Schriften der Berliner Academie, von den Jahren 1756 und 1761 (S. 218 ff.).

***) Kastn. N. Arch. II. 118.

| Stoffe. | Brechungsverhältniß. |
|---|---|
| Lösung von 2 Scrupel Salz der Salinen | 1,3477 |
| Lösung von 2 Scrupel Sal Urinae | 1,3400 |
| Provenceröl | 1,4650 |
| Terpentinöl | 1,4822 |
| Gesättigtes Mineralkali | 1,3665 |
| Salpetersäure | 1,4020 |
| Lösung von 2 Scrupel Glaubersalz | 1,3430 |
| Lösung von 2 Scrupel Sal digest. Sylv. | 1,3454 |
| Lösung von 2 Scrupel Salmiak | 1,3488 |
| Lösung von 1 Scrupel Eisenvitriolöl | 1,3395 |
| Oleum Tartar. per deliquium | 1,3917 |

Brechungsverhältnisse bei 51° R.

| | |
|---|---|
| Brunnenwasser | 1,3351 |
| Lösung von 12 Gran gereinigten Salpeter | 1,3380 |
| — — 24 — — — | 1,3398 |
| — — 48 — — — | 1,3450 |
| — — 2 Drachmen — — | 1,3540 |
| Infusion von Pfirsichblättern | 1,3363 |
| — — Nußschalen | 1,3351 |
| — — Safran | 1,3359 |
| — — Petersilie | 1,3351 |
| Eger Wasser | 1,3358 |
| Selterser Wasser | 1,3353 |
| Liquor Anodynus | 1,3650 |
| Kampherspiritus | 1,3757 |
| Seifenspiritus | 1,4088 |

Verfahren Euler's. Euler bediente sich zweier, in einem Fernrohre anzubringender, Glas-Menisken, wovon der erste, dem Object zugekehrt, eine concav-concave Linse, der andere eine nach dem Object zu concave, nach dem Bilde zu convexe, Linse war, wie Fig. 14. erläutert.

Er taucht die beiden Linsen in die filtrirte Flüssigkeit, drückt sie, nachdem sie sich damit gefüllt, fest zusammen, worauf sie, auch nach dem Herausnehmen, fest an einander haften, befestigt sie sodann vorn in einem Fernrohre, dessen Ocular die Brennweite von 1,56" hat, richtet es nach einem fernen Gegenstand und berechnet aus der Länge, um welche er das Objectiv bis zum deutlichen Sehen verschieben oder die Röhre ausziehen muß, die Brennweite desselben und daher das Brechungsverhältniß der in ihm eingeschlossenen Flüssigkeit. Durch gehörige Wahl der Radien läßt sich die veränderliche Länge sehr beträchtlich erhalten und daher das Verhältniß bis auf die vierte Decimalstelle verbürgen. Euler gebrauchte zwei Paare von Menisken, von gleicher Form, die er mit A, B bezeichnet. Die Dimensionen von A giebt er so an: der Radius von a = 8,74"; von b =

2,46″; von c = 2,15″; von d = 2,05 Rheinl. Das Brechungsverhältniß des Glases 1,5399. Dann entwickelt er noch zwei Formeln, um für jedes angewandte Paar den Brechungsindex der Flüssigkeit n zu bestimmen; für A, $n = 1{,}2991 + 1{,}1751 \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{f}\right)$, und für B, $n = 1{,}3066 + 1{,}1694 \left(\frac{1}{k} + \frac{1}{f}\right)$, wo f den Halbmesser für a, k den für d bedeutet.

Für das Brechungsverhältniß und den damit zusammenhängenden Winkel des Polarisationsmaximum verschiedener Metalle (auf die mittleren Stralen des Spectrums bezogen) hat Brewster folgende Werthe gefunden:

| Metalle. | Brechungsverhältniß. | Winkel des Polarisationsmaximum. |
|---|---|---|
| Korn-Zinn (grain tin) | 4,915 | 78° 30′ |
| Quecksilber | 4,893 | 78 27 |
| Bleiglanz | 4,773 | 78 10 |
| Schwefelkies | 4,511 | 77 30 |
| Glanz-Kobalt | 4,309 | 76 56 |
| Spiegelmetall | 4,011 | 76 0 |
| Geschmolzenes Antimon | 3,844 | 75 25 |
| Stahl | 3,732 | 75 0 |
| Wismuth | 3,689 | 74 50 |
| Reines Silber | 3,271 | 73 0 |
| Zink | 3,172 | 72 30 |
| Weißblech (Tin plate) gehämmert | 2,879 | 70 45 |
| Juweliergold | 2,864 | 70 45 |

Diese Bestimmungen sind aus den Erscheinungen der elliptischen Polarisation abgeleitet, von denen weiterhin die Rede sein wird.

Marx **) fand das Brechungsverhältniß des Selens, nach seinem Polarisationswinkel (67° 15′) berechnet, = 2,385 ***).

## Abänderung des Fraunhofer'schen Instrumentes zur Bestimmung des Brechungsverhältnisses durch Prismen, von Seebeck ****).

Der Verfasser hat das Fraunhofer'sche Instrument, welches sich in Gilbert LVI. 266 beschrieben findet, in so fern abgeändert, daß sich die Scheibe, welche das Prisma trägt, über dem Centrum des Limbus befindet, um die aus deren excentrischer Stellung entstehende Parallaxe zu vermeiden, und daß die Regel nebst Fernrohr, wie sie Fraunhofer zu:

*) Philos. transact. 1830. P. II. p. 324.

**) Schweigg. LXI. 48.

***) Als etwas Eigenthümliches bemerkt hiebei Marx, daß das Selen selbst im dünnsten Zustande, kein Licht durchließ.

****) Pogg. XX. 39.

Messung des Einfallswinkels anwendet, weggelassen wird, da sie durch folgendes Verfahren überflüssig wird. Seebeck stellt das Prisma vor dem Fernrohre des Instrumentes so auf, daß nicht nur das vom Prisma gebrochene, sondern auch sowohl das direct einfallende, als das von der hintern (dem Fernrohre zugekehrten) Fläche des Prisma's gespiegelte Licht einer entfernten Lampe beobachtet werden kann. Der Unterschied der bei der erstern und zweiten dieser Beobachtungen angezeigten Winkel giebt die Ablenkung des Lichtes, und der Unterschied der bei der zweiten und dritten angezeigten Winkel giebt das Doppelte des Winkels, welchen die hintere Fläche des Prisma's auf der Axe des Fernrohres bildet. Aus diesen beiden Größen, verbunden mit dem Neigungswinkel des Prisma's, welcher mittelst desselben Instrumentes durch Spiegelung gemessen wird, ergiebt sich das Brechungsverhältniß. Dies Verfahren gewährt den Vortheil, nicht bloß beim Minimum der Ablenkung, sondern bei verschiedenen Einfallswinkeln messen zu können.

### Einfluß der Temperatur auf Brechungs- und Zerstreuungsvermögen von Flüssigkeiten.

Durch Beobachtungen über die Veränderung der Focalweite einer mit Schwefelkohlenstoff gefüllten Linse bei verschiedener Temperatur hat Barlow *) ausgemittelt, daß das Brechungsverhältniß des Schwefelkohlenstoffes zwischen 0° und 100° C. in der Voraussetzung einer gleichförmigen Veränderung um $\frac{1}{10}$ abnimmt **), welches Verhältniß nahe der zugehörigen Ausdehnung des Schwefelkohlenstoffes entspricht, weshalb es Barlow wahrscheinlich findet, daß sich das Brechungsvermögen überhaupt direct wie die Dichte verändere. Das Zerstreuungsvermögen anlangend, so glaubt Barlow durch seine Versuche, die er jedoch in diesem Bezuge noch zu erweitern verspricht, wahrscheinlich gemacht zu haben, daß es sich gar nicht mit der Temperatur ändere.

### Unabhängigkeit des Zerstreuungs- vom Brechungsvermögen.

Herschel ***) führt als Beweis der Unabhängigkeit des Zerstreuungsvermögens vom Brechungsvermögen an, daß, wenn man dem Cassiaöl seinen Wasserstoff durch hindurchgeleitetes Chlor entzieht, wodurch es sich in eine viskose Masse verwandelt, sein Brechungsvermögen sehr wenig, sein Zerstreuungsvermögen sehr stark abgeändert wird.

*) Ann. de Ch. et de Ph. XL. 364 (kurz in Pogg. XIV. 396).

**) Die directen Beobachtungen waren von 4°,5 C. bis 24° C. angestellt.

***) Edinb. J. of sc. Nr. 20. p. 306 oder Baumg. Zeitschr. VII. 78.

## VII. Doppelte Brechung des Lichtes.

---

### Anwendung des salpetersauren Natrons zu Versuchen über die Doppelbrechung.

Marx *) empfiehlt zu Versuchen über die Doppelbrechung in hohem Grade die, mit einer einzigen repulsiven Axe begabten, Krystalle des salpetersauren Natrons, dessen Doppelbrechung noch stärker als die des Kalkspathes ist, indem das constante Verhältniß des Einfallssinus zum Brechungssinus für den gewöhnlichen Stral nach Marx Messungen = 1,481 und für den ungewöhnlichen Stral = 1,251 ist**). Wir wollen in Bezug auf Anstellung solcher Versuche einiges Nähere über die Verhältnisse des salpetersauren Natrons mittheilen.

In Nachtheil steht die Anwendung des salpetersauren Natrons gegen die des isländischen Spathes in so fern, als es von letzterm leicht ist, sich große und durchsichtige Stücke zu verschaffen, denen ihre natürliche Härte und Unauflöslichkeit in Wasser eine gleichförmige, unveränderliche Dauer verleiht, während man sich von jenem meist mit kleinen Krystallen begnügen muß, deren Klarheit nicht immer vollkommen ist, deren Weiche ein genaues Zuschleifen verhindert und die in feuchter Luft leicht anlaufen und matt werden, wogegen sich jedoch klare Krystalle durch einen sehr dünnen Firniß- oder Fettüberzug schützen lassen. Dagegen gewähren sie den Vortheil, daß sie zu jeder Zeit aus einer wässerigen Auflösung, und bei gehöriger Masse und Vorsicht oft in zollgroßen Individuen dargestellt, und wegen ihrer geringen Härte zu optischen Zwecken schnell und ohne Mühe zugerichtet werden können.

Die gewöhnlich erscheinende Gestalt des salpetersauren Natrons ist die eines stumpfen Rhomboeders (Fig. 15.), dessen großer Kantenwinkel nach Marx Versuchen 106° 33′ beträgt, und dessen Axe, wenn die Seite der horizontalen Projection des in aufrechter Stellung befindlichen Rhomboeders als Einheit angenommen wird, hiernach = $\sqrt{2,05}$ ist.

Abgeleitete Formen konnte der Verfasser bis jetzt keine anderen erhalten, als das Rhomboeder mit abgestumpften Polecken (Fig. 16).

Beim Krystallisiren liegen die einzelnen anschießenden Rhomboeder entweder auf der Fläche P oder auf o. Spuren von Zuschärfungen auf den Randecken wurden wohl bemerkt, auch Zwillinge nach R — r zusammengesetzt, doch waren sie nicht entschieden und meßbar genug. Die Theilbarkeit oder der Blätterdurchgang findet vollkommen nach den Pflächen Statt, und ist so rein und spiegelnd wie beim Kalk- und Bitterspath. Das specifische Gewicht des Salzes wurde = 2,1880 gefunden.

*) Schweigg. LVII. [illegible].
**) Beim Kalkspath respectiv 1,[illegible] und 1,[illegible]15.

Von dem, beim Kalkspathe beobachteten, Phänomen der Vermehrung der Bilder durch eine eigenthümliche diagonale Reflexion und Refraction, die Malus von feinen, den stumpfen Kanten des Krystalles parallelen, Sprüngen, Brewster *) und Mohs **) von zarten Einlagerungen einer andern Masse abgeleitet hat, konnte Marx nur geringe Anzeichen bei den Krystallen des salpetersauren Natrons wahrnehmen. Bald jedoch gelang es ihm dieselben willkührlich hervorzurufen, wenn er in einem klaren Krystall, parallel der stumpfen Kante, mit einem glühend heißen Messer einsetzte. Der Krystall bekam hier einen leichten Sprung, in dem sich jene Erscheinungen der Vervielfachung und Färbung der Bilder wiederholten. Das gleiche Verfahren gelang ihm übrigens auch an ganz reinen und gleichförmig durchsichtigen Stücken vom Doppelspathe ***).

### Mittel, die Divergenz der zwei Stralenbüschel im Doppelspathe zu vergrößern, von Nicol †).

Man schleife die spitzigen Kantenwinkel eines 1 Zoll langen, $\frac{1}{10}$ Zoll dicken und eben so breiten Kalkspathrhomboeders so zu, daß jener, der 65° betrug, nun die Größe 68° hat, und polire die neuen Flächen, theile dann das Rhomboeder in zwei gleiche Theile durch einen Schnitt, welcher durch die spitzigen Kanten geht, und nahe die stumpfen Körperwinkel trifft, verbinde beide Theile mit den polirten Flächen mittelst Canadabalsam fest mit einander, so, daß man dadurch ein Rhomboeder erhält, welches der natürlichen Gestalt des Doppelspathes ähnlich ist.

Fällt ein Lichtstral parallel mit einer Seitenkante auf das Rhomboeder, so wird er so stark in zwei Theile gespalten, daß man nur den gewöhnlichen Stral ins Auge und ein farbenloses Bild bekommt, welches an seinem natürlichen Orte entsteht. Dreht man das Rhomboeder um eine mit der längern Diagonale der Seitenflächen parallele Axe, so überzeugt man sich, daß der gewöhnliche Stral sogar über die Größe des ganzen Gesichtsfeldes hinausreicht. Da kommt ein blaues Bild zum Vorschein, wenn der gewöhnliche Stral auf einer Seite verschwindet, und ein oranges, von einer großen Anzahl sehr kleiner dunkelfarbiger Franzen begleitetes, wenn dieses auf der andern Seite der Fall ist. Über die Franzen hinaus verschwindet das gewöhnliche Bild, und es kommt das ungewöhnliche zum Vorschein; doch dieses nimmt wegen der Schiefe des einfallenden Lichtes einen kleinern Raum ein, und erscheint minder deutlich als das gewöhnliche. Der gewöhnliche Stral taugt in der Lage, wo er in einer mit einer Seitenkante parallelen Richtung das Rhomboeder verläßt, am besten zu Untersuchungen über denselben, und ein reiner Kalkspath, in die Form eines

*) Philos. transact. 1815. p. 274.

**) Grundriß der Mineralogie. II. 110.

***) Vergl. hierüber auch Brewster in Edinb. Journ. of sc. Nr. XVIII. p. 281 und Marx's Krystallkunde S. 47 und 270.

†) Edinb. phil. J. Nr. XI. p. 83 oder Baumg. Z. VI. 231.

Rhomboeders von der vorhin beschriebenen Art gebracht, bringt die Farbenringe in krystallisirten Körpern mit einer Schönheit hervor, wie man sie durch Turmalinplättchen, und vielleicht durch kein anderes Mittel, erzeugen kann.

Wem die Construction des oben beschriebenen Rhomboeders aus einem Stücke zu schwierig scheint, der kann sich das Geschäft dadurch erleichtern, daß er aus zwei Rhomboedern die zwei Hälften desselben bereitet und sie mit einander verbindet. Dabei thut man wohl, einen der zwei Theile etwas über den andern vorläufig hervorstehen zu lassen, und dieses hervorstehende Stück erst dann wegzunehmen, wenn der Kitt vollkommen fest geworden ist.

## Doppelte Brechung durch Druck.

Schon früher hat Fresnel *) durch Versuche mit Compression des Glases nachgewiesen, daß das Glas durch Zusammendrückung nach Einer Richtung eine positive Axe doppelter Brechung in der Richtung des Druckes erhält, und er hat es hienach für sehr wahrscheinlich erklärt, daß man durch Druck nach zwei verschiedenen Richtungen auch die Erscheinungen zweiaxiger Krystalle am Glase würde hervorbringen können. Man denke sich z. B. einen Glaswürfel, in dem die Theilchen, welche anfangs nach den drei Richtungen, senkrecht gegen die Flächen des Würfels, einen gleichen Abstand von einander besitzen, durch Compression nach zwei dieser Richtungen genähert werden. Sind diese Compressionen gleich, so würde der Fall auf den zurückkommen, wo bloß Druck nach einer einzigen Richtung Statt findet, mithin auf den Fall einaxiger Krystalle; sind aber die Compressionen ungleich, so wird das Glas dreierlei verschiedene Abstände zwischen seinen Moleculen nach drei unter einander rechtwinklichen Richtungen darbieten und alle optischen Eigenschaften der zweiaxigen Krystalle besitzen. Die Neigung der beiden optischen Axen gegen diese drei rechtwinklichen Richtungen wird sich aus den Verkürzungen der Dimensionen des Würfels leicht berechnen lassen. In Bezug auf diese Erzeugung der Erscheinungen zweiaxiger Krystalle im Glase sind jedoch bis jetzt noch keine Versuche angestellt.

Brewster **) hat neuerdings Versuche bekannt gemacht, welche die Erzeugung einer positiven Axe doppelter Brechung durch Druck nach der Richtung dieses Druckes auch an einer Mischung von Wachs und Harz kennen lehren.

Derselbe nahm einige Tropfen eines geschmolzenen Gemenges aus gleichen Theilen von Wachs und Harz ***), und brachte sie nach einander auf

*) Ann. de Ch. et de Ph. XX. 376 oder Pogg. XIX. 528.

**) Pogg. XIX. 527.

***) Ein solches Gemeng zeigt, wenn man eine Portion davon schmilzt und ohne Druck zwischen zwei Glasplatten erkalten läßt, die verworrene Polarisation des Bienenwachses und besitzt einen beträchtlichen Grad von Opalescenz.

eine Platte dicken Glases, so daß sie einen großen Tropfen bildeten. Ehe der Tropfen erkaltet war, legte er auf ihn ein kreisrundes Glasstück von etwa $\frac{2}{3}$ Zoll im Durchmesser, und preßte ihn durch einen senkrechten Druck gegen die Mitte des Glasstückes, zu einer dünnen Platte aus. Die nach dem Drucke fast ganz durchsichtig erscheinende Platte zeigte jetzt, polarisirtem Lichte ausgesetzt, daß sie eine positive Axe doppelter Stralenbrechung besitze, und bot die polarisirten Farben eben so vollkommen, als mancher Krystall des Mineralreiches, dar.

Das der weichen Schicht durch den Druck mitgetheilte Gefüge gehört ihr nicht als Ganzes an, noch hat sie eine durch ihren Mittelpunct gehende Axe, wie eine Kreisscheibe von unabgekühltem Glase. Vielmehr ist in jedem Puncte derselben eine Axe doppelter Stralenbrechung senkrecht gegen die Schicht, und die doppelt brechende Kraft variirt mit der Inclination des einfallenden Strales gegen diese Axe, wie in allen regelmäßigen einaxigen Krystallen. Nimmt man die Glasplatten von einander, so kann man eine oder mehrere Portionen von der zusammengedrückten Schicht absondern, und diese wirken auf das Licht genau eben so, wie Blättchen von einaxigem Glimmer oder Magnesiahydrat, und zeigen eine doppelt brechende Kraft von eben so großer Intensität.

## Formeln Fresnel's, um den Bezug der Geschwindigkeiten ($v$ und $v_1$) der beiden Stralen, in die sich das Licht durch doppelte Brechung spaltet, zu ihrer Richtung, so wie den Winkel ($\gamma$) der optischen Axen zu bestimmen *).

Wir wollen im Folgenden die Geschwindigkeiten der beiden gebrochenen Stralen im Sinne der Emissionstheorie nehmen, und sie respectiv $v$ und $v_1$ nennen, mit der Bemerkung, daß man, um die Verhältnisse in die der Undulationstheorie zu übersetzen, statt $v$ und $v_1$ überall respectiv zu substituiren hätte $\frac{1}{v}$ und $\frac{1}{v_1}$. $\gamma$ sei der Winkel, den beide optische Axen im Fall eines zweiaxigen Krystalles mit einander bilden.

Für einen Krystall mit 2 optischen Axen hat man:

$$v^2 = n^2 + (n_1^2 - n^2)\sin^2\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)$$

$$v_1^2 = n^2 + (n_1^2 - n^2)\sin^2\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)$$

$$v^2 - v_1^2 = (n_1^2 - n^2)\sin\alpha\sin\beta$$

$$\sin^2\left(\frac{\gamma}{2}\right)^{**)} = \frac{n_2^2 - n^2}{n_1^2 - n^2}$$

*) Ich führe diese und die folgenden, schon seit längerer Zeit bekannten, Formeln bloß wegen Bezugs einiger der folgenden Artikel darauf hier wieder mit an.

**) Der Winkel $\gamma$ ist der wahre Axenwinkel, den sogenannten scheinbaren

In diesen Formeln sind:

$\alpha$ und $\beta$ die Winkel, welche der betrachtete Stral respectiv mit beiden optischen Axen macht.

n der constante Brechungsexponent in einem, aus dem zweiaxigen Krystalle geschnittenen, Prisma, bei welchem die Kante des brechenden Winkels der Linie, welche den stumpfen Winkel der optischen Axen mitten durchtheilt, parallel ist *).

$n_1$ der constante Brechungsexponent in einem Prisma, dessen Kante der Zwischenlinie der Axen, d. i. der, welche ihren spitzen Winkel mitten durchtheilt, parallel ist.

$n_2$ der constante Brechungsexponent in einem Prisma, bei welchem die Kante senkrecht auf die Ebene der optischen Axen ist.

Es verdient bemerkt zu werden, daß das constante Brechungsverhältniß allemal demjenigen von beiden in jedem Prisma erscheinenden Stralen angehört, dessen Polarisationsebene senkrecht auf die Kante des Prisma's ist; auf diesen sind mithin die Werthe n, $n_1$, $n_2$ zu beziehen.

Für einen Krystall mit 1 optischen Axe hat man:

$$\nu^2 = n^2$$

$$\nu_1^2 = n^2 + (n_1^2 - n^2) \sin^2 u$$

$$\nu^2 - \nu_1^2 = (n_1^2 - n^2) \sin^2 u$$

Hierin ist

n das constante Brechungsverhältniß des ungewöhnlichen Strales;

$n_1$ das constante Brechungsverhältniß des ungewöhnlichen Strales in einem Prisma, dessen Kante der Axe parallel ist.

u der Winkel des Strales mit der Axe.

Wie leicht erhellt, lassen sich die Formeln für den einaxigen Krystall aus denen für den zweiaxigen ableiten, indem man setzt:

$$\alpha = \beta = u.$$

### Formeln für Bestimmung der Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strales in einaxigen Krystallen **).

Um bei einaxigen Krystallen, aus der Richtung des einfallenden Strales und der Kenntniß der Brechungsverhältnisse des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strales die Richtung des gebrochenen Strales, welche durch den Brechungswinkel $\delta_1$ und den Winkel $\omega_1$ der Brechungsebene mit dem Hauptschnitte bestimmt wird, herzuleiten, dienen folgende zwei Formeln:

$$\tan \delta_1 \sin \omega_1 = \frac{a^2 \sin \delta \sin \omega}{\sqrt{[A - a^2 \sin^2 \delta \, (A \sin^2 \omega + b^2 \cos^2 \omega)]}}$$

Axenwinkel i berechnet man hieraus nach folgender Formel:

$$\sin\left(\frac{i}{2}\right) = n_2 \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

*) Es wird bei diesen und den nachfolgenden Prismen vorausgesetzt, daß der Stral in einer auf die Kanten des Prisma senkrechten Ebene auffällt.

**) Baumg. Suppl. S. [illegible]

$$\tang \delta_1 \cos \omega_1 = \frac{\frac{a^2 \delta^2}{A} \cdot \frac{\sin \delta \cos \omega}{\sqrt{[A - a^2 \sin^2 \delta (A \sin^2 \omega + b^2 \cos^2 \omega)]}}}{- \frac{B}{A}}$$

Hierin ist:

$\lambda$ der Winkel, den ein Perpendikel auf die Einfallsfläche mit der Axe des Krystalles bildet, oder, was dasselbe ist, der Winkel, den die Einfallsfläche mit einer auf die Axe senkrechten Ebene bildet;

$\delta$ der Einfallswinkel;

$\omega$ der Winkel, den die Einfallsebene mit dem Hauptschnitte bildet;

n der Brechungsexponent für den gewöhnlichen Stral (beim Doppelspath = 1,6543);

$n_1$ der (für die bekannte Richtung) constante Brechungsexponent für den ungewöhnlichen Stral (beim Doppelspath = 1,4833).

Ferner ist zur Abkürzung gesetzt:

$$a = \frac{1}{n_1}; \quad b = \frac{1}{n}$$

$$A = a^2 \sin^2 \lambda + b^2 \cos^2 \lambda$$

$$B = (b^2 - a^2) \sin \lambda \cos \lambda$$

Endlich sind die gesuchten Größen:

$\delta_1$ der Brechungswinkel;

$\omega_1$ der Winkel der Brechungsebene mit dem Hauptschnitte.

Steht die Fläche, welche den Stral trifft, auf der Axe der doppelten Brechung senkrecht, so ist

$$\lambda = o, \; A = b^2, \; B = o$$

und man findet

$$\omega_1 = \omega$$

$$\tang \delta_1 = \frac{a^2}{b} \cdot \frac{\sin \delta}{\sqrt{(1 - a^2 \sin^2 \delta)}}$$

Ist die Fläche, welche der Stral trifft, mit der Axe parallel, so hat man

$$\lambda = 90^\circ, \; A = a^2, \; B = o$$

Fällt ein Stral in der Ebene des Hauptschnittes oder einer damit parallelen Ebene ein, so ist $\omega = o$; für einen senkrecht einfallenden Stral ist $\delta = o$, Fälle, worauf sich die Formel leicht anwenden läßt.

Kennt man die Ablenkung $\delta_1$ eines Strales bei senkrechtem Einfallen, (wo $\delta = o$, $\omega_1 = o$), so findet man das Verhältniß $\frac{a}{b}$ oder $\frac{n}{n_1}$ nach folgender Formel:

$$\frac{a}{b} = \sqrt{\left[\frac{\tang (\lambda + \delta_1)}{\tang \lambda}\right]}$$

**Gleichung der Oberfläche der Lichtwellen in einem Mittel, dessen Elasticität nach den drei Hauptrichtungen verschie-**

den ist, und Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes nach der Richtung der Radiorum vectorum, von Ampère*).

Es sei ein Mittel mit drei Hauptaxen der Elasticität gegeben. Die Coordinaten werden diesen Axen parallel genommen. $a^2$, $b^2$, $c^2$ sind drei constante Größen, proportional den Elasticitäten des Mittels nach der Richtung der Axen der $x$, $y$, $z$. Es sei ferner

$$p = \frac{dz}{dx}, \quad q = \frac{dz}{dy}$$

$$A = c^2 p^2 + a^2 q^2 + a^2$$

$$B = b^2 p^2 + c^2 q^2 + b^2$$

so hat man für die gemeinschaftliche Gleichung aller Berührungsebenen der Oberfläche einer Welle, die vom Mittelpuncte der Coordinaten ausgegangen ist, folgende:

$$(z - px - qy)^2 = \tfrac{1}{2}\left[A + B \pm \sqrt{(A-B)^2 - 4(c^2-b^2)(a^2-c^2)p^2q^2}\right]$$

und die endliche Gleichung der krummen Fläche der Welle ist:

$$(x^2 + y^2 + z^2)(a^2x^2 + b^2y^2 + c^2z^2) - a^2(c^2 + b^2)x^2$$
$$- b^2(a^2 + c^2)y^2 - c^2(a^2 + b^2)z^2 + a^2b^2c^2 = 0$$

Setzt man in dieser Formel zwei Elasticitätsaxen einander gleich, so beschränkt man die Formel für die Gestalt der Welle auf Krystalle mit Einer optischen Axe. Für $b = c$ erhält man

$$[a^2x^2 + b^2(y^2 + z^2)](x^2 + y^2 + z^2) - 2a^2b^2x^2$$
$$- b^2(a^2 + b^2)(y^2 + z^2) + a^2b^2 = 0, \text{ oder}$$
$$(x^2 + y^2 - z^2 - b^2)[a^2x^2 + b^2(y^2 + z^2) - a^2b^2] = 0$$

Der erste Factor ist die Gleichung einer Kugel, der zweite die eines elliptischen Sphäroids.

Für Krystalle, an welchen alle drei Elasticitätsaxen einander ungleich sind, läßt sich die Gleichung der Wellengestalt nicht in zwei rationale Factoren zerlegen, wohl aber jeder Durchschnitt derselben mit den Coordinatenebenen. Dieser Durchschnitt erfolgt stets in einer Ellipse und in einem Kreise, wie sich leicht ergiebt, wenn man in der allgemeinen Gleichung successiv $x = 0$, $y = 0$, $z = 0$ setzt.

Man kann aus der allgemeinen Gleichung ein Theorem zur Bestimmung der Geschwindigkeit**) des Lichtes nach der Richtung der Radiorum vectorum, die vom Mittelpuncte der Wellenbewegung auf die Oberfläche der Welle gezogen werden, ableiten. Schicken wir in diesem Bezuge einige thatsächliche Vorerinnerungen voraus.

*) Ann. de Ch. et de Ph. XXXIX. 113. Die obigen Resultate waren zum Theil schon von Fresnel (in Mém. de l'Acad. VII.) gefunden, aber minder einfach und allgemein erwiesen worden.

**) Die Geschwindigkeit des Lichtes wird hier im Sinne der Wellentheorie verstanden; um das Nachfolgende für die Geschwindigkeit im Sinne der Emissionstheorie anwendbar zu machen, muß man anstatt der, den Geschwindigkeiten des Lichtes proportionalen, Längen solche, die ihnen umgekehrt proportional sind, einführen.

Die einzige Axe des Isländischen Spathes, um welche alle Lichterscheinungen sich nach allen Richtungen gleich verhalten, bietet bekanntlich folgende zwei Eigenschaften dar: 1) der Lichtstral, der sie durchläuft, hat immer dieselbe Geschwindigkeit, welches auch seine Polarisationsebene sein mag; 2) das Licht erfährt keine Veränderung in seiner Richtung, wenn es in den Krystall ein= oder austritt durch eine auf dieser Axe senkrechte Fläche und in einer mit der Axe parallelen Richtung. Eben so ist bekannt, daß jeder auf diese Axe senkrechte Lichtstral bloß die letztere dieser beiden Eigenschaften darbietet, nicht aber die erste; denn er besteht aus zwei, nach bestimmten Richtungen rechtwinklich auf einander polarisirten, Stralen von verschiedenen Geschwindigkeiten, wie sich durch die Theilung eines solchen Strales in zwei andere beim Austritte durch eine schiefe Fläche zu erkennen giebt. In den Krystallen mit zwei sogenannten optischen Axen findet sich die erste Eigenschaft bloß nach den beiden Richtungen dieser Axen, so daß ein Lichtstral, der eine dieser Axen durchläuft, bloß Eine Geschwindigkeit in allen seinen Theilen besitzt, welche für beide optische Axen jedenfalls gleich ist, und die wir mittlere Geschwindigkeit nennen und mit c bezeichnen wollen. Die zweite Eigenschaft dagegen ist nicht für diese Axen gültig; wenn nämlich ein Lichtstral in den Krystall ein= oder austritt durch eine Fläche, welche senkrecht auf der Richtung der optischen Axe ist und in einer mit der Axe parallelen Richtung, so bleibt er nicht ungespalten, sondern er theilt sich stets in zwei, rechtwinklich auf einander polarisirte, Stralen. Dagegen hat diese zweite Eigenschaft, die man beim Isländischen Spath sowohl in Bezug zu seiner einzigen Axe als allen darauf senkrechten Geraden verwirklicht findet, in den Krystallen mit zwei optischen Axen nach drei auf einander rechtwinklichen Richtungen Statt, welche die Richtungen der drei Hauptaxen der Elasticität sind. Wenn das Licht in den Krystall ein= oder austritt durch Flächen, welche senkrecht auf diese Axen und in Richtungen, welche damit parallel sind, so erfährt es keine Änderung in seiner Richtung, besitzt aber nach jeder dieser Axen zwei verschiedene Geschwindigkeiten, wie sich dadurch zu erkennen giebt, daß es sich in zwei rechtwinkliche, auf einander nach zwei verschiedenen Richtungen polarisirte, Stralen theilt, wenn es, nachdem es im Krystalle eine dieser Axen durchlaufen hat, durch eine schiefe Fläche daraus austritt.

Auf der einen dieser drei Axen nun sind die beiden Geschwindigkeiten des Lichtes, welches längs derselben hingeht, die größte und kleinste von allen den Geschwindigkeiten, welche es im Krystalle überhaupt erlangen kann. Wir wollen sie die Hauptaxe der Elasticität nennen und mit a die Maximumgeschwindigkeit, mit b die Minimumgeschwindigkeit, welche längs dieser Axe Statt haben, bezeichnen. Ihre Richtung ist senkrecht auf der Ebene der beiden optischen Axen. Die beiden anderen Axen befinden sich in der letztern Ebene und theilen die vier Winkel, welche von den beiden Richtungen der optischen Axen gebildet werden, in zwei gleiche Theile. Die beiden Geschwindigkeiten, deren das Licht, welches diese beiden

Elasticitätsaxen durchläuft, fähig ist, sind für die eine die Maximumgeschwindigkeit a und die mittlere Geschwindigkeit c, für die andere die Minimumgeschwindigkeit b und die mittlere Geschwindigkeit c.

Nach diesen Voraussetzungen gilt zur Bestimmung der Geschwindigkeiten des Lichtes, nach der Richtung der Radiorum vectorum, folgender Satz:

Es seien Fig. 17. $O\alpha$, $O\beta$, $O\gamma$ die Richtungen der drei Elasticitätsaxen, $O\gamma$ die Hauptaxe der Elasticität, nach welcher die Geschwindigkeiten a und b Statt finden, $O\beta$ die Axe, nach welcher die Geschwindigkeiten a und c Statt finden, und $O\alpha$ die, nach welcher die Geschwindigkeiten b und c Statt finden; O der Punct, von welchem die Lichtwelle ausgeht. Man trage nun auf jede Axe zu beiden Seiten des Punctes O zwei gleiche Längen auf, welche derjenigen der drei Geschwindigkeiten a, b, c proportional sind, deren das Licht nach dieser Axe nicht fähig ist; mithin mache man $OC = OC'$ proportional der Geschwindigkeit c, $OB = OB'$ proportional der Geschwindigkeit b und $OA = OA'$ proportional der Geschwindigkeit a. Man wird nun auf den drei Geraden $AA' = 2a$, $BB' = 2b$, $CC' = 2c$ ein Ellipsoid construiren können, wovon diese Linien die Axen sind. Will man die beiden Geschwindigkeiten, deren das Licht fähig ist, nach irgend einer durch O gehenden Geraden haben, so lege man durch O eine auf die Gerade senkrechte Ebene. Diese wird mit dem Ellipsoid eine elliptische Durchschnittsebene bilden und die beiden Axen dieser Ellipse werden die beiden Geschwindigkeiten des Lichtes nach der Richtung des Lichtstrales vorstellen, d. h. die Geschwindigkeiten des Strales nach dieser Richtung werden zu den Geschwindigkeiten nach der Richtung der Elasticitätsaxen in demselben Verhältnisse stehen, als die Längen der Ellipsenaxen in der Durchschnittsebene zu den Längen der Axen des Ellipsoids.

Es erhellt hieraus, daß man, um die Oberfläche der Welle zu construiren, bloß nöthig haben wird, auf der Richtung jedes Strales rechts und links vom Puncte O die Längen der beiden Axen des elliptischen Durchschnittes aufzutragen, den eine durch den Punct O senkrecht auf die Richtung dieses Strales gelegte Ebene mit dem Ellipsoid macht.

Es läßt sich noch ferner aus der Gleichung für die Wellenoberfläche in Bezug auf die Durchschnitte derselben mit den Coordinatenebenen, die nach Obigem ein Kreis und eine Ellipse sind, ableiten: 1) daß der elliptische Durchschnitt der Wellenoberfläche und der des Ellipsoids dieselbe Ellipse sind, aber in verkehrter Lage, so daß die gröste Axe des einen Durchschnittes in die Richtung der kleinen Axe des andern und umgekehrt fällt; 2) daß der kreisförmige Durchschnitt zum Radius die Hälfte derjenigen Axe des Ellipsoids hat, welche senkrecht auf die Ebene dieses kreisförmigen Durchschnittes ist. Beschreibt man sonach auf den drei Axen des Ellipsoids, successiv als Durchmesser genommen, drei sphärische Oberflächen, welche die Oberfläche des Ellipsoids an seinen Gipfeln berühren, so werden sich die drei kreisförmigen Durchschnitte der Wellenoberfläche mit den drei Coordi-

natenebenen unter denen der drei sphärischen Oberflächen finden; die Oberfläche der Welle wird jede dieser sphärischen Oberflächen in einem ihrer größten Kreise berühren, und auf der sphärischen Oberfläche vom mittlern Durchmesser werden die multipeln Puncte der Wellenoberfläche liegen, in denen sich ihre beiden Schalen (nappes) vereinigen, so daß die äußere Schale der Oberfläche zwischen der größten und mittlern sphärischen Fläche, die innere Schale zwischen dieser letzten und der kleinsten sphärischen Fläche enthalten sein wird.

### Bestimmung der Elemente doppelter Brechung für Bergkrystall, Kalkspath, Arragonit und farblosen Topas, von Rudberg *).

Rudberg hat durch sorgfältige Messungen die Elemente der doppelten Brechung für die verschiedenen Stralen des Spectrums im Bergkrystall, Kalkspath (einarigen Krystallen), dem Arragonit und farblosen Topas (zweiarigen Krystallen) bestimmt, indem er die Messungen auf die von Fraunhofer entdeckten dunkeln fixen Linien in den Spectris bezog. Wir theilen die Resultate dieser Bestimmungen hier mit, indem wir jedoch hinsichtlich der Art, wie sie gefunden wurden, auf die Originalabhandlung verweisen. Da die Axenneigung und die davon abhängigen Elemente der doppelten Brechung sich mit der Temperatur ändern, so sind die nachfolgenden Bestimmungen in voller Strenge nur für die Temperaturen gültig, bei welchen die Beobachtungen angestellt wurden.

Es bedeuten im Folgenden:

B, C, D, E, F, G, H dieselben durch dunkele Linien im Farbenspectrum bezeichneten, Stellen, die von Fraunhofer damit bezeichnet werden **). (B liegt im rothen, H im violetten Ende des Spectrums).

$n$, $n_1$, $n_2$, $\gamma$ haben die S. 108 angegebene Bedeutung.

Bergkrystall ***) bei + 18° C.

| Stral. | $n$ | $n_1$ | $\frac{n_1}{n}$ | $\frac{n_1^2}{n^2} - 1$ |
|---|---|---|---|---|
| H | 1,55817 | 1,56772 | 1,00613 | + 0,01230 |
| G | 1,55425 | 1,56365 | 1,00605 | + 0,01213 |
| F | 1,54965 | 1,55894 | 1,00599 | + 0,01202 |
| E | 1,54711 | 1,55631 | 1,00594 | + 0,01193 |
| D | 1,54418 | 1,55328 | 1,00589 | + 0,01182 |
| C | 1,54181 | 1,55085 | 1,00586 | + 0,01176 |
| B | 1,54090 | 1,54990 | 1,00584 | + 0,01172 |

*) Pogg. XIV. 45; XVII. 1.

**) Vergl. z. B. Biot's Lehrb. V. Taf. XXI. Fig. 12.

***) Mittel aus fast übereinstimmenden Beobachtungen an zwei Prismen.

Kalkspath *) bei 17° ¾ C.

| Stral. | $n$ | $n_1$ | $\frac{n}{n_1}$ | $\frac{n_1^2}{n^2} - 1$ |
|---|---|---|---|---|
| H | 1,68330 | 1,49780 | 1,12385 | — 0,20826 |
| G | 1,67617 | 1,49453 | 1,12154 | — 0,20499 |
| F | 1,66802 | 1,49075 | 1,11891 | — 0,20126 |
| E | 1,66360 | 1,48868 | 1,11750 | — 0,19923 |
| D | 1,65850 | 1,48635 | 1,11582 | — 0,19682 |
| C | 1,65452 | 1,48455 | 1,11449 | — 0,19492 |
| B | 1,65308 | 1,48391 | 1,11400 | — 0,19420 |

Arragonit **) bei 16° bis 19° C.

| Stral. | $n_1$ | $n$ | $n_2$ | $\frac{n}{n_1}$ | $\frac{n}{n^2}$ | $\gamma$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 1,54226 | 1,71011 | 1,70509 | 1,10883 | 1,00294 | 20° 25′ 6″ |
| G | 1,53882 | 1,70318 | 1,69836 | 1,10681 | 1,00284 | 20 12 6 |
| F | 1,53479 | 1,69515 | 1,69053 | 1,10449 | 1,00273 | 20 0 50 |
| E | 1,53264 | 1,69084 | 1,68684 | 1,10822 | 1,00267 | 19 53 0 |
| D | 1,53013 | 1,68589 | 1,68157 | 1,10154 | 1,00257 | 19 37 8 |
| C | 1,52820 | 1,68203 | 1,67779 | 1,10066 | 1,00253 | 19 33 14 |
| B | 1,52749 | 1,68061 | 1,67631 | 1,10024 | 1,00256 | 19 44 40 |

Farbloser Topas ***) bei 16° bis 19° C.

| Stral. | $n_1$ | $n$ | $n_2$ | $\frac{n_1}{n_2}$ | $\frac{n_1}{n}$ | $\gamma$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H | 1,63506 | 1,62539 | 1,62745 | 1,00466 | 1,00595 | 54° 54′ 0″ |
| G | 1,63123 | 1,62154 | 1,62365 | 1,00467 | 1,00597 | 55 34 24 |
| F | 1,62652 | 1,61701 | 1,61914 | 1,00456 | 1,00588 | 56 37 24 |
| E | 1,62408 | 1,61452 | 1,61668 | 1,00458 | 1,00592 | 56 40 30 |
| D | 1,62109 | 1,61161 | 1,61375 | 1,10455 | 1,00588 | 56 37 30 |
| C | 1,61880 | 1,60935 | 1,61144 | 1,00459 | 1,00587 | 56 3 0 |
| B | 1,61791 | 1,60840 | 1,61049 | 1,00461 | 1,00591 | 55 51 58 |

Die Werthe für n oder $n_1$ in beiden Prismen unterscheiden sich bloß in der letzten Decimalstelle.

*) Beobachtungen an Einem Prisma.

**) Mittel aus Beobachtungen an sieben Prismen.

***) Nach Beobachtungen an 4 Prismen.

Nach den vorstehenden Werthen von n, $n_1$, $n_2$ kann man das Verhältniß der Elasticitäten des Äthers, wie sie sich nach den Richtungen der sogenannten Elasticitätsaxen Fresnel's (Krystallisationsaxen nach Ampère und Rudberg) für die verschiedenen Farben äußern, berechnen. Nennt man nämlich:

A die Elasticität nach der Richtung der Axe, welche den spitzen Winkel der optischen Axen halbirt;

B die Elasticität nach der Axe, welche den stumpfen Winkel der optischen Axen halbirt;

C die Elasticität nach der Axe, welche senkrecht auf der Ebene der beiden optischen Axen ist; so hat man in zweiaxigen Krystallen (die Elasticität in der Luft = 1 gesetzt):

$$A = \frac{1}{n_1{}^2};\ B = \frac{1}{n_2};\ C = \frac{1}{n_2{}^2}$$

mithin, z. B. für den Stral F im Arragonit, für A = 1,

| A | B | C |
|---|---|---|
| 1 | 0,81975 | 0,82424 |

Die Elasticitätsaxe des Kalkspathes entspricht deutlich der Axe der Elasticität A im Arragonit, von der die optischen Axen nur etwa um 10° auf jeder Seite abweichen. Hienach findet man für den Stral F im Kalkspathe:

| Elasticität | |
|---|---|
| nach der Richtung der Axe | senkrecht gegen die Axe |
| 1 | 0,79874 |

## Zerstreuung der Axen doppelter Brechung.

Rudberg*) hat durch Versuche am Bergkrystall, Kalkspath, Arragonit und farblosen Topas, deren detaillirte Ergebnisse wir so eben mitgetheilt haben, das Resultat gefunden, daß sowohl in einaxigen als zweiaxigen Krystallen jeder homogene Farbenstral seine eigenthümliche doppelte Brechung hat, und zwar eine desto stärkere, je größer die einfache Brechbarkeit dieser Farbe ist.

Die Neigung zwischen den optischen Axen zeigte sich im Arragonit vom violetten bis zum rothen Ende des Spectrums fortwährend abnehmend, während beim farblosen Topas das Umgekehrte der Fall zu sein schien, doch variirte die Neigung für die einzelnen Farbestralen hier nur sehr wenig.

Man erkennt diese Umstände durch Vergleichung der Werthe von $\gamma$ (welches die Bezeichnung des Axenwinkels ist), welche für die verschiedenen,

*) Pogg. XI. 45. XVII. 1.

durch die lateinischen Buchstaben bezeichneten, Farbestralen nach den Tabellen S. 113 und 114 Statt finden.

Man sieht, daß im Arragonit bloß der Stral B eine Ausnahme von der Abnahme des Neigungswinkels der Axen für die Stralen mit ihrer Annäherung an das rothe Ende des Spectrums macht. Dies rührt indeß nach dem Verfasser wahrscheinlich von Beobachtungsfehlern her; auch bemerkt er, daß diese Winkel im Allgemeinen nicht bis auf eine Minute sicher sein können, woraus sich unstreitig die beim Topas beobachtete Unregelmäßigkeit der Werthe erklärt.

Einen merkwürdigen Fall der Zerstreuung der Axen doppelter Brechung bietet nach Brewster *) der Glauberit dar. Für die homogenen rothen Stralen besitzt er zwei Axen, die ungefähr um 5° gegen einander geneigt sind. Diese Neigung nimmt successiv ab für die orangenen, gelben, grünen Stralen, und für die violetten fallen beide Axen zusammen.

### Messung des Neigungswinkels der Axen doppelter Brechung.

Rudberg **) macht in Bezug auf die Messung des Neigungswinkels der Axen doppelter Brechung, mittelst der Erscheinungen der Farbenringe, welche die bewegliche Polarisation in Platten erzeugt, die senkrecht auf die Zwischenlinie der Axen zugeschnitten sind, darauf aufmerksam, daß die Mitte der im Innern der elliptischen Farbenringe liegenden weißen Ellipse nicht genau mit dem Pole der optischen Axe coincidiren könne, und daß mithin diese Messungsmethode nicht völlig genau sei.

Es folgt nämlich aus der Fresnel'schen Theorie, daß die senkrecht auf einander polarisirten Stralen, welche in einer Lamelle, deren Flächen unter sich parallel und gegen die Zwischenlinie der Axen senkrecht sind, gemeinschaftlich mit derselben Geschwindigkeit die Richtung einer optischen Axe durchlaufen haben, sich beim Heraustreten aus der Lamelle von einander trennen müssen, welches bei der Lamelle eines einaxigen Krystalles, wenn nicht deren Flächen gegen die Krystallisationsaxen geneigt sind, nicht der Fall ist. Der eine Stral, dessen Polarisationsebene parallel mit der Ebene der optischen Axen ist, folgt dem Cartesischen Gesetze, so daß, wenn $\frac{1}{2}i$ den Winkel zwischen dem ausgetretenen Stral und dem Perpendikel auf die Ebene der optischen Axen, $y$ den Neigungswinkel der optischen Axen bezeichnet, und $n$, $n_1$, $n_2$ die Seite 108 angegebene Bedeutung haben, man hat:

$$\sin \tfrac{1}{2} i = n_2 \sin \tfrac{1}{2} y$$

Der andere Stral dagegen, dessen Polarisationsebene senkrecht auf der Ebene der optischen Axen ist, macht noch nach dem Heraustreten mit dieser Axe einen Winkel $\frac{1}{2}e$, der, zufolge der Huyghens'schen Construction, durch die Gleichung

*) Edinb. phil. Journ. 1829. April. 326 oder Schweigg. LVI. 218.

**) Pogg. XVII. 27.

$$\sin \tfrac{1}{2} e = \frac{n^2 \sin \frac{1}{2}\gamma}{\sqrt{n_1^2 - (n_1^2 - n^2) \sin^2 \frac{1}{2}\gamma}}$$

gegeben wird *). Die beiden Stralen also, obgleich sie in der Lamelle in gleicher Richtung gegangen sind, trennen sich dennoch beim Heraustreten um einen gewissen Winkel von einander. Da nun die Farbenringe durch Interferenz der beiden entgegengesetzt polarisirten Stralen entstehen, und folglich der weiße Fleck in derjenigen Richtung erscheinen wird, in der zwei Stralen, die senkrecht auf einander polarisirt sind und eine gleiche Anzahl von Undulationen in der Lamelle zurückgelegt haben, parallel mit einander hervortreten, ferner aber die beiden Stralen, welche mit gleicher Geschwindigkeit eine optische Axe durchlaufen haben, beim Heraustreten divergiren, so kann der weiße Fleck nicht in der Richtung des Strales erscheinen, der in der Richtung einer optischen Axe gegangen und nach dem Cartesischen Gesetze gebrochen worden ist.

---

## VIII. Interferenzphänomene, Beugungsphänomene.

### Über den mangelnden Einfluß verschiedener Umstände auf Beugungsphänomene, von Halbat **).

Durch noch umfassendere Versuche, als es bisher geschehen, hat neuerdings Halbat den negativen Einfluß vieler Umstände auf die Beugungsphänomene nachgewiesen.

Es wurden Platten und Drähte von Eisen, Kupfer, Silber, während sie die Beugung bewirkten, bis zum Weißglühen erhitzt und wieder bis — 10° C. erkaltet; es wurden Strömungen und Entladungen von gewöhnlicher und galvanischer Elektricität, welche selbst bis zum Schmelzen der Drähte getrieben wurden, bald nach der einen, bald nach der entgegengesetzten Richtung hindurchgeleitet; der Lichtstral ward auf den Schneiden beugender Platten, womit ein sehr kräftiger Magnet armirt war, aufgefan-

*) Für den Stral H im Topas (S. 114) z. B. bekommt man nach diesen Formeln, mittelst der Werthe

$\gamma = 54° \, 54'$;

$n = 1{,}62539$; $n_1 = 1{,}63506$; $n_2 = 1{,}62745$

folgende Resultate:

$\tfrac{1}{2} i = 48° \, 36' \, 30''$ und $\tfrac{1}{2} e = 48° \, 58' \, 4''$

Die beiden Stralen, obwohl in der Lamelle in gleicher Richtung gegangen, trennen sich daher beim Heraustreten um 21′ 34″ von einander. Für denselben Stral H im Arragonit werden

$\tfrac{1}{2} i = 17° \, 35' \, 27''$ und $\tfrac{1}{2} e = 19° \, 42' \, 47''$

weichen also um 2° 7′ 20″ von einander ab.

**) Ann. de Ch. et de Phys. XLI. 424 oder Schweigg. LVIII. 76.

gen; man ließ durch die Lichtstralen, vor ihrem Anlangen an den beugenden Platten oder Drähten, sehr helle Flammenstralen und mächtige elektrische Ströme hindurchgehen; alle diese Umstände bewirkten keine Veränderung in den Säumen oder anderen Beugungserscheinungen.

## Beugungsphänomene durch Gitter.

**Darstellung ihrer Theorie durch Babinet*).** Babinet erklärt die Dunkelheit zwischen dem directen weißen Bilde und dem ersten Spectrum, welche ein durch ein Gitter gesehenes Licht darbietet, so wie die Abhängigkeit der Spectra von der Summe der Breite einer Öffnung und der Dicke eines Drahtes auf folgende Weise.

Man nehme an, daß MN (Fig. 29.) ein Gitter vorstelle, und LP, QA, KB, RN die für das Licht undurchdringlichen, so wie HL, PQ, AK, BR die durchsichtigen Theile desselben seien. Man betrachte eins der, aus einem undurchsichtigen Theile bestehenden, Intervalle, z. B. AB, das eine solche Lage hat, daß für das in C befindliche Auge der Unterschied der Linien BC und AC gleich sei der Länge einer ganzen Undulation für eine gewisse Lichtgattung. Da die einfallenden Stralen SH, SA, SB ꝛc. senkrecht stehen auf der Ebene des Gitters, und sie gemeinschaftlich aus einem hinlänglich entfernten Lichtpuncte entsprungen sind, überdies die Linien AC und BC, wegen Kleinheit der Linie AB, beinahe parallel laufen, sich also der Bogen AG, der aus C mit dem Halbmesser AC beschrieben ist (so daß man hat $BG = BC - AC = \lambda$) als eine gemeinsame Normale auf den Linien AC und BC betrachten läßt, so wird BG, gleich $\lambda$, die Strecke sein, um welche ein Stral, der den Weg SBC nimmt, gegen den, die Linie SAC durchlaufenden, Stral zurückbleibt.

Man denke sich nun für einen Augenblick den Zwischenraum AB ganz frei, und ziehe durch den, in der Mitte von AB befindlichen, Punct I einen Stral SIC, welcher folglich nur die Hälfte von BG, d. h. um eine halbe Undulation gegen den dem Wege SAC folgenden Stral zurückbleibt. Man sieht leicht, daß in dieser Annahme der Stral, welcher durch A nach C geht, von dem, welcher sich über I nach C fortpflanzt und von ihm um eine halbe Undulation abweicht, zerstört wird. Eben so werden alle successiven Elementarstralen, welche in den verschiedenen Puncten zwischen A und I entspringen, durch diejenigen zerstört, welche von den zwischen I und B liegenden Puncten ausgehen, weil sie gegen die ersteren um eine halbe Undulation zurückstehen. Der Theil AB des Gitters wird also ganz des Lichtes beraubt erscheinen.

Wenn wir uns aber nun den opaken Theil KB des Zwischenraumes AB wieder hergestellt denken, und IF gleich AK nehmen, so werden die abgelenkten Stralen, die zwischen A und K ihren Ursprung nehmen, nicht mehr durch die, welche zwischen I und F entspringen könnten, und von

*) Pogg. XV. 500.

ihnen um eine halbe Undulation abgewichen sein würden, zerstört, weil diese letzteren von dem undurchsichtigen Stücke KB aufgefangen werden. Die ersteren bleiben also unvernichtet und bringen nach C ein desto lebhafteres Licht, je mehr AK der Gleichheit mit AI, der Hälfte von AB, nahe kommt. Man darf den Zwischenraum AK aber nicht über I hinaus vergrößern, wie wenn z. B. AF der durchsichtige und FB der undurchsichtige Theil des Gitters wäre; denn dann würde ein Theil der nahe an A vorbeigehenden Stralen durch die zwischen I und F entspringenden, von dem opaken Theil des Gitters nicht mehr aufgefangenen, Stralen vernichtet werden. Letztere Eigenthümlichkeit, welche sich auf die Intensität des von AB ausgehenden Lichtes bezieht, und welche Fraunhofern entgangen ist, ist noch durch Versuche nachzuweisen.

Da die Farbe, deren Undulationslänge $\lambda$ ist, in dem Gitterstücke AB, für welches man hat $BG = \lambda$, nicht aufgehoben wird, so ist es leicht, den Winkel HCA oder HCB zu bestimmen, welchen der, diese Farbe zum Auge in C führende, Stral AC oder BC, mit dem directen Lichte SC macht. Ungeachtet diese Berechnung der Ablenkungswinkel der gebeugten Stralen schon nach früheren Untersuchungen und von allgemeineren Gesichtspuncten aus bekannt ist, so wollen wir doch Babinet's, sich durch Einfachheit auszeichnende, Darstellung hier mittheilen.

Es haben die rechtwinklichen Dreiecke HCB und BAG den Winkel B mit einander gemein und sind daher einander ähnlich. Das Verhältniß von HB zu BC oder der Sinus des Winkels HCB, den wir mit $\delta$ bezeichnen wollen, wird also gleich sein dem Verhältniß von BG zu BA, d. h. dem Verhältniß von $\lambda$ zu der Größe AB, welche wir c nennen wollen. Man hat demnach:

$$\sin \delta = \frac{\lambda}{c}$$

Durch eine ähnliche Folgerung läßt sich zeigen, daß diese nämliche Farbe, deren Wellenlänge $\lambda$ ist, auch in den Zwischenräumen des Gitters bestehen bleibt, welche weiter als AB von H entfernt sind, und bei welchen BC zwei-, drei- oder viermal so groß als $\lambda$ ist. Man hat also für den Ablenkungswinkel $\delta$ den Ausdruck:

$$\sin \delta = \frac{m\lambda}{c}$$

worin m eine ganze Zahl ist, die den Rang des Spectrum bezeichnet, zu welchem die jedesmalige Farbe gehört.

Bei Untersuchung der sehr einfachen Beziehung, die zwischen der Ablenkung des Strales und seiner, die Farbe bedingenden, Undulationslänge $\lambda$ besteht, sieht man sogleich, daß die weniger brechbaren Stralen, für welche $\lambda$ größer ist, auch am meisten abgelenkt werden, und daß demnach in jedem Spectrum das Roth am entferntesten und das Violett am nächsten dem directen Bilde liegt. Man sieht auch, daß die Spectra in der Nähe des directen Bildes, für welche $\delta$ nicht zu beträchtlich ist, wegen der Propor-

tionalität des Bogens mit dem Sinus, in gleichen Abständen von diesem Bilde liegen müssen. Eben so lassen sich alle übrigen Umstände aus der Formel ableiten, welche das Gesetz der Erscheinung ausdrückt *).

Wenn man mit dem Gitter MN (Fig. 29.) Stralen, welche von S′, S′, S′ herkommen, auffängt, so daß das in C befindliche Auge die abgelenkten Stralen durch Zurückwerfung wahrnimmt, so ist leicht zu ersehen, daß die Unterschiede im Gange der Stralen die nämlichen als im vorhergehenden Falle sind, und daß man folglich die nämlichen Farben an den nämlichen Theilen des Gitters beobachten wird, was auch mit der Erfahrung übereinstimmt.

Wenn man annimmt, daß die zum Gitter von F (Fig. 30.) gelangenden Stralen aus einem nicht unendlich entfernten Puncte entspringen, so hängt die Farbe, die in AB zum Vorschein kommt, von EB + BG ab, und wenn diese Größe gleich ist einer oder mehreren ganzen Undulationen einer gewissen Farbe, so bleibt diese Farbe in dieser Richtung für das in C befindliche Auge sichtbar. Bezeichnet $\delta$ wie vorhin den Winkel HCB oder HCA, und $\alpha$ den Winkel HFA oder HFB, so hat man offenbar:

$$\frac{BG}{AB} = \sin\delta; \quad \frac{EB}{AB} = \sin\alpha,$$

woraus:

$$BG = c\sin\delta; \quad EB = c\sin\alpha;$$

also:

$$BG + EB = c\sin\delta + c\sin\alpha;$$

aber diese Größe muß ein Vielfaches von $\lambda$ sein; man hat also endlich:

$$m\lambda = c\sin\delta + c\sin\alpha,$$

oder

$$\frac{m\lambda}{c} = \sin\delta + \sin\alpha$$

Es ist leicht eine analoge Rechnung auf den Fall anzuwenden, wo die Ebene des Gitters schief stände gegen die Stralen des directen Bildes. Die Fig. 31. stellt diesen Fall vor, für Stralen, die von G ausgehen und durch den Theil AB des Gitters zu dem in C befindlichen Auge gelangen. Man wird haben müssen:

$$GAC - GBC = m\lambda.$$

Dieselbe Figur zeigt den Fall einer schiefen Reflexion; die Stralen gehen vom Puncte F aus, und gelangen durch Reflexion zum Auge in C. Wenn man mittelst der gemeinschaftlichen Normalen AD, BE, gleiche Stücke von den Wegen der Stralen FAC, FBC abschneidet, so wird die

*) Die Beobachtung der Ablenkungen $\delta$ ist sehr geeignet, die Undulationslänge $\lambda$ für jede Stralengattung kennen zu lehren. Denn da die Größe c viele Male in den Gittern enthalten ist, so kann man immer ein großes Multiplum dieser Größe auf einmal messen und dadurch ihren Werth sehr genau bestimmen, wie dies auch von Fraunhofer geschehen ist.

Farbe von dem Unterschiede zwischen AE und DB abhängen, und man wird diesen in dem Ausdrucke:

$$AE - DB = m\lambda$$

leicht durch den Sinus der Winkel ersetzen.

Die Verschiedenheit, welche zwischen den Farben der Gitter und den der engen Öffnungen besteht, ungeachtet sich auf beide Fälle dieselben Interferenzprincipien anwenden lassen, wird begreiflicher, wenn man erwägt, daß, falls AB (Fig. 29.) eine enge Öffnung, für die BG = λ, wäre, das Auge von dieser Öffnung keinen Stral erhalten würde, während es bei dem Gitter von demselben Theile diese Lichtgattung auf das allerlebhafteste empfängt. Man kann auch nicht die Farben des Zwischenraumes AB am Gitter auf den durchsichtigen Theil AK, denselben als enge Öffnung angesehen, beziehen, weil die nach C gelangende Farbe alsdann nach der Größe AK der Öffnung veränderlich sein müßte, was der Beobachtung widerspricht.

## Verfahren, den Abstandswinkel der Spectra vom weißen Bilde bei den Beugungsphänomenen durch Gitter zu messen, von Babinet *).

Fraunhofer hat wie bekannt den Winkelabstand der einzelnen Farbenbilder, welche man erhält, wenn man das von einer hohen und schmalen Öffnung kommende Licht durch ein aus parallelen, gleich weit von einander abstehenden, Fäden bestehendes Gitter leitet, von der Mitte des weißen ungebeugten Strales, mittelst eines repetirenden Theodoliths bestimmt, und es ist wohl zu zweifeln, daß man auf irgend einem Wege ein schärferes Resultat erhalten wird; indeß giebt doch Babinet ein anderes Mittel hierzu an, welches Genauigkeit mit Einfachheit verbindet.

Es seien B und N (Fig. 32.) zwei schmale Öffnungen, deren gegenseitige Entfernung sehr genau bekannt ist und deren jede links und rechts eine Reihe Farbenbilder erzeugt, wenn man das durch sie in das verfinsterte Zimmer gelangende Licht durch ein Gitter von der oben angegebenen Art gehen läßt. Durch Abänderung des Abstandes des Gitters kann man es leicht dahin bringen, daß ein rechts gelegenes Bild, das zur Öffnung B gehört, auf das gleichartige links liegende, von der Öffnung N herrührende, fällt. In diesem Falle giebt die halbe Entfernung der Öffnungen von einander, dividirt durch die Distanz des Gitters von der Ebene der Öffnungen, den Sinus des Winkelabstandes der betreffenden Farbenbilder von der Mitte des weißen Bildes.

*) Ann. de Ch. et de Phys. XL. 166 oder Pogg. XV. 505 oder Baumg. Zeitschr. VI. 226.

## Beugungsphänomene beim Betrachten von Sternen durch Teleskope, von Herschel *).

Wenn wir einen glänzenden Stern durch ein sehr gutes Teleskop, welches nicht sehr vergrößert, ansehen, so erscheint uns derselbe als eine condensirte glänzende Masse Licht, deren Gestalt, des Glanzes wegen, unmöglich unterschieden werden kann, und welche, sei auch das Teleskop noch so gut, selten von kleinen straligen Anhängen oder Fransen frei ist. Gebrauchen wir aber ein Teleskop von 200- bis 300- oder 400maliger Vergrößerung, so erscheint uns der Stern unter günstigen Umständen, dergleichen ruhige Luft, gleichförmige Temperatur rc. sind, vollkommen rund, und wie eine gut begränzte planetarische Scheibe, die abwechselnd mit zwei, drei oder mehreren dunklen und glänzenden Ringen umgeben ist, welche bei aufmerksamer Betrachtung an ihren Rändern etwas gefärbt erscheinen, sich fast in gleichen Zwischenräumen concentrisch auf einander folgen, und gewöhnlich viel besser, regelmäßiger und gebildeter durch Refractoren als durch Reflectoren gesehen werden. Auch ist die Centralscheibe durch die ersteren viel größer als durch die letzteren zu sehen.

Diese Scheiben wurden zuerst von Wilhelm Herschel (dem Vater) entdeckt, welcher, um sie sichtbar zu machen, sich sehr stark vergrößernder Teleskope bediente. Sie sind nicht die wirklichen Sternkörper, welche zu weit entfernt sind, um sie je durch Vergrößerungen, die wir erlangen können, sichtbar zu machen, sondern unterschobene oder unreelle Bilder, die aus optischen Ursachen entstehen, welche bisher bis auf einen gewissen Grad immer dunkel blieben. Es ist in der That Jedem klar, der mit den Gesetzen der Interferenz und der Bildung der Brennpuncte nach dem Undulationssysteme vertraut ist (das Objectivglas genau aplanatisch vorausgesetzt), daß der Brennpunct in der Axe durch die in vollkommener Übereinstimmung zusammentreffenden Undulationen bewirkt werde, und natürlicher Weise intensiv leuchtend erscheinen müsse; und das, sobald wir von dem Focus in einer Richtung, die mit der Axe einen rechten Winkel macht, abgehen, diese Übereinstimmung nicht mehr Statt finde, sondern die Stralen, die von einer Seite des Objectivglases kommen, anfangen, mit jenen zu interferiren, die von der andern Seite herkommen, so daß in einer gewissen Entfernung von der Axe eine totale Opposition eintritt, und ein dunkler (kreisförmiger) Ring entstehet, auf welchen aus derselben Ursache ein heller folgt, und so weiter. Auf diese Art wird die Entstehung der Centralscheibe und des Ringes einleuchtend, obwohl die Berechnung ihrer Größe aus den gegebenen Größen schwierig sein mag. Aber dieses belehret uns nicht über eine der merkwürdigsten Eigenheiten dieser Erscheinung, nämlich daß die scheinbare Größe der Scheibe für verschiedene Sterne verschieden, und je heller der Stern, desto größer ist. Dies kann keine bloße Täuschung sein, indem, wenn zwei ungleich glänzende Sterne zu

*) Herschel's Werk über das Licht S. 415 oder Baumg. Zeitschr. VII. 460.

gleicher Zeit beobachtet werden, wie dies z. B. bei sich nahen Doppelsternen direct geschehen kann, sich eine auffallende Ungleichheit in den Durchmessern ihrer unreellen Bilder ergiebt; noch kann dieses in einem wirklichen Unterschiede der Sterne selbst liegen, da bei dem Dazwischentreten einer Wolke, welche ihre Helle verdunkelt, auch ihre scheinbaren Scheiben zu bloßen Puncten reducirt werden; noch kann es einer Irradiation oder Fortpflanzung des Eindruckes vom Puncte der Netzhaut an in die Entfernung sein, weil in diesem Falle das Licht der Centralscheibe sich den Kreisen nähern und sie vertilgen würde, es sei denn, daß wir in der That eine Schwingung der Retina voraussetzen, welche nach denselben Gesetzen wie jene des Äthers erzeugt und der Interferenz fähig wäre, in welchem Falle die Scheibe und die Kreise auf der Retina das Resultat der Interferenz beider Undulationen sein würden.

Herschel d. J., welchem wir die Mittheilung des Vorstehenden verdanken, indem er sich der Aufklärung der erwähnten Eigenthümlichkeiten begiebt, fügt noch eine detaillirte und durch Figuren erläuterte Beschreibung mehrerer Erscheinungen der betrachteten Art hinzu, die durch Blendungen oder Öffnungen von verschiedener Form, die an Objectivgläsern applicirt waren, hervorgebracht worden sind. Wir begnügen uns, hievon folgende Beispiele auszuheben.

Wurde die ganze Öffnung des Teleskops durch eine kreisrunde Blendung begränzt, welche entweder dem Objectivglase nahe oder in einiger Entfernung von demselben applicirt war, so stand die Vergrößerung der Scheibe und der Kreise mit den Öffnungsdurchmessern in einem verkehrten Verhältnisse. Wurde die Öffnung sehr klein (z. B. für ein Teleskop von 7 Fuß Focallänge bis auf 1 Zoll reducirt), so vergrößerte sich die unreelle Scheibe bis zur planetarischen Gestalt, in welcher sie wohl begränzt und nur mit einem Ringe umgeben erschien, der lebhaft genug war, um deutlich gesehen zu werden, und schwach gefärbt. Die Farben folgten in folgender Ordnung von dem Mittelpuncte der Scheibe an gerechnet auf einander: Weiß, sehr schwach roth, schwarz, sehr schwach blau, weiß, äußerst schwach roth, schwarz. Wurde die Öffnung noch weiter, z. B. bis auf einen halben Zoll verkleinert, so wurden die Kreise zu schwach, um noch weiter gesehen werden zu können, und die Scheibe sehr vergrößert. Die Abstufung des Lichtes vom Centrum an bis an den Umfang war nun sehr merklich, so daß es eine nebelige und kometenartige Gestalt erzeugte.

Bei ringförmigen Öffnungen war die Erscheinung außerordentlich auffallend und sehr regelmäßig. Hatte der äußere Durchmesser des Ringes 8 Zoll, und der innere $1\frac{1}{2}$ Zoll, so sah man die Capella, wie Fig. 37. zeigt, und den Doppelstern Castor, wie Fig. 38. darstellt. Wird die Breite der ringförmigen Öffnung vermindert, so vermindert sich auch die Größe der Scheibe und die Breite der Kreise. (Im Gegensatze mit dem, was in den Fraunhofer'schen Experimenten mit außerordentlich engen ringförmigen Öffnungen Statt gefunden hat. Offenbar beruhen die gegenwärti-

gen Erscheinungen auf anderen Grundgesetzen.) Zu gleicher Zeit vermindert sich die Anzahl der sichtbaren Ringe. Die Figuren 39., 40. und 41. stellen dar, wie die Capella erscheint bei ringförmigen Öffnungen von 5,5 — 5 Zollen, (nämlich bei solchen, deren äußerer Durchmesser 5,5, und innerer 5 Zolle mißt), von 0,7 — 0,5", und von 2,2 — 2 Zollen.

Bei dieser letzten Erscheinung reducirte sich die Scheibe auf einen kaum bemerkbaren runden Punct, und die Kreise befanden sich so nahe an einander, daß sie kaum gezählt werden konnten. Wurde die Breite der ringförmigen Öffnung noch ferner bis zur Hälfte verkleinert, so konnten die Zwischenräume zwischen den Kreisen nicht länger mehr unterschieden werden. Die Dimensionen dieser Kreise und der Scheibe scheinen allgemein mit $\frac{r' - r}{r}$ im Verhältnisse zu stehen, wo $r'$, $r$ die Halbmesser der ringförmigen Öffnung bedeuten.

Außer den nahe der Scheibe gelegenen Kreisen werden mit ringförmigen Öffnungen noch andere von viel größerem Durchmesser und schwächerm Lichte wie Höfe gesehen, die nach Fraunhofer's Sprache zu Spectris von einer verschiedenen Klasse gehören. Bei einer einzigen ringförmigen Öffnung sind sie zu schwach, um genau gesehen werden zu können; bei einer aus zwei solchen Ringen zusammengesetzten Öffnung aber, wie in Figur 42., lassen sie sich leicht beobachten und bieten dann den Anblick der Figur 43. dar, worin zu bemerken ist, daß das Licht durch Schattirung, das Dunkle durch Weiß bezeichnet ist.

## Erklärung der Farben dicker Platten durch Interferenz, von Herschel *).

Nach Versuchen von Newton bilden sich unter gewissen Umständen farbige Ringe durch Platten von durchsichtigen Mitteln, die eine beträchtliche Dicke besitzen. Diese Umstände sind für einen der hauptsächlichsten Fälle, unter welchen die Ringe erscheinen, folgendermaßen von Newton beschrieben worden.

Läßt man einen hellen Sonnenstral durch eine kleine Öffnung von $\frac{1}{3}$ Zoll Durchmesser in ein dunkles Zimmer gehen, fängt denselben auf einem concavconvexen Glasspiegel von 1 Zoll Dicke auf, dessen beide Oberflächen zu Kugeln von 6 Fuß Halbmesser gehören, und dessen hintere Seite belegt ist, hält ein Stück weißes Papier in den Mittelpunct, welches eine Öffnung besitzt, damit der Sonnenstral durch dieselbe hindurchgehen und, nachdem er vom Spiegel zurückgeworfen ist, auch wieder durch sie zurückgehen kann, so ergiebt sich, daß die Öffnung von 4 oder 5 gefärbten concentrischen Ringen oder Regenbogen umgeben ist, gerade so, wie die zwischen Objectivgläsern gesehenen Ringe den mittlern Fleck umgeben, aber größer und die Farben verwaschener. Betrug der Abstand des Papieres vom Spie-

*) Herschel's Werk über das Licht. S. [illegible]

gel viel mehr oder viel weniger als 6 Fuß, so wurden die Ringe immer verwaschener und verschwanden völlig. Die Farben hatten hiebei dieselbe Ordnung als bei den durchgelassenen Ringen zwischen zwei Objectivgläsern, nämlich weiß, schmutzig weiß, schwarz, violett, blau, grüngelb, gelb, roth, purpur rc. Die Durchmesser der Ringe hatten dasselbe Verhältniß, als die bei den Gläsern, indem die Quadrate der Durchmesser der abwechselnd hellen und dunklen Ringe eine arithmetische Reihe bildeten, die mit Null anfing. In dem hier beschriebenen Falle waren die Durchmesser der hellen Ringe 0, $1\frac{1}{16}$, $2\frac{5}{8}$, $2\frac{1}{12}$, $3\frac{5}{8}$ rc. Bei Spiegeln von verschiedener Dicke verhalten sich die Durchmesser derselben umgekehrt, wie die Quadratwurzeln der Dicke. Bei einem belegten Spiegel wurden die Ringe bloß lebhafter.

Diese verschiedenen Erscheinungen, so wie eine Menge anderer ähnlicher, die mehr oder weniger verwickelt ausfallen, je nachdem die Entfernung oder die Schiefe des Spiegels, oder die Krümmung der Oberflächen geändert wird, hat Newton sehr glücklich aus den Anwandlungen der geringen Lichtmenge erklärt, die unregelmäßig an der ersten Oberfläche des Spiegels zerstreut wird und die sie sichtbar macht. Indessen lassen sich dieselben auch nach den Gesetzen der Interferenz aus der Undulationstheorie erklären, und dies ist von Herschel geschehen. Wir theilen diese Erklärung um so lieber hier mit, da die Darstellung derselben in der deutschen Übersetzung seines Werkes über das Licht, theils wegen Druckfehlern im Texte, theils wegen gänzlicher Verstümmelung der dazu gehörigen Figur, fast ganz unverständlich geworden ist.

Es giebt keine Oberfläche, wie genau sie auch polirt sein mag, die so frei von allen Ritzen und Ungleichheiten ist, daß sie nicht außer den Hauptstralen, die den regelmäßigen Gesetzen der Zurückwerfung und Brechung gehorchen, noch andere schwächere Lichtmengen brechen und reflectiren sollte, die nach allen Richtungen stralen und die Oberfläche einem in beliebiger Richtung befindlichen Auge sichtbar machen, und sich vorzüglich in großer Quantität in der Nähe der regelmäßig zurückgeworfenen oder gebrochenen Stralen befinden.

Es seien nun FAD, EBG (Figur 33.) die parallelen Oberflächen irgend eines Mittels, welches senkrecht einem homogenen Strale, der von C herkommt und in A auffällt, entgegengehalten wird. Der größte Theil dieses Strales geht gerade durch A hindurch und wird nach demselben Puncte wieder von B aus zurückgeworfen. Allein ein Theil des Strales erfährt auch eine unregelmäßige Zerstreuung in A, und der Stral AB wird daher von einem divergenten schwachen Stralenkegel begleitet, dessen Stralen von A aus alle in einerlei Phase, welche dieselbe als die des einfallenden Strales ist, ausgehen, so daß A als ihr gemeinschaftlicher Ursprung angesehen werden kann. Es sei Q der zu A gehörige Brennpunct der von der zweiten Oberfläche reflectirten Stralen (sind die Oberflächen eben, so haben A und Q gleiche Entfernungen von B), so werden

die zerstreuten Stralen einen Kegel bilden, der zur Axe den regelmäßig zurückgeworfenen Stral hat und von Q aus divergirt. Gehen die Stralen wieder in die Luft über, so sei q der zu Q gehörige Brennpunct der an der Oberfläche FD gebrochenen Stralen. Sie werden dann nach der Brechung von q divergiren und vermöge der Eigenschaften der Brennpuncte nach der Undulationstheorie werden die Undulationen in der Luft so fortgepflanzt, als ob sie in q einen gemeinschaftlichen, in der Luft befindlichen, Ursprung hätten, weil die Wellen nach der Brechung die Gestalt von Kugelflächen, welche concentrisch um q sind, haben, und daher jedes Stück ihrer Oberfläche gleich weit von q entfernt ist, so daß die Stralen, wenn sie wirklich getrennt von q ausgingen, alle dieselbe Phase haben würden. Erreicht nun der zurückgeworfene Stral den Punct A, so wird ein Theil desselben wieder in einen Kegel zerstreut, in dessen Axe sich der regelmäßig durchgehende Stral AC befindet, und die Stralen AO, AM, AN rc. haben alle A zum Ursprunge, und befinden sich bei ihrem Abgange von A in derselben Phase als der Stral AC, der dieselbe Phase hat, als wenn er von q herkäme. Betrachten wir daher einen Punct M außerhalb der Richtung des direct durchgegangenen Strales AC, so wird derselbe zu gleicher Zeit von zwei Wellen erreicht, von denen eine dem Kegel um qM, die andere dem Kegel um AM zugehört, und der Wegesunterschied ist qA + AM — qM.

Ist nun M sehr nahe bei C, so wird dieser Wegesunterschied sehr klein sein, in C selbst verschwinden und hier genaue Übereinstimmung der Wellen Statt finden. Mit zunehmender Entfernung des Punctes M von C wird der Wegesunterschied wachsen, und da, wo er bis zu einer halben Undulation gediehen ist, werden die Stralen in vollständiger Entgegensetzung sein und sich wechselseitig zerstören. So wird es abwechselnd fortgehen. Da dieses nun für alle Stralen in den kegelförmigen Oberflächen um AC als Axe betrachtet, die gleiche Neigung gegen AM, qM haben, Statt findet, so wird eine in C aufgestellte weiße Tafel abwechselnd dunkle und helle Ringe um einen hellen Mittelpunct zeigen. Um ihre Durchmesser zu bestimmen, brauchen wir bloß

$$qA + AM - qM = n\,\frac{\lambda}{2}$$

zu setzen, oder nehmen wir $qA = a$, $AC = r$, $CM = y$,

$$a + \sqrt{rr + yy} - \sqrt{(a + r)^2 + yy} = n.\,\frac{\lambda}{2}$$

Lösen wir diese Gleichung auf, indem wir $yy$ vernachlässigen, so kommt

$$y = \sqrt{n}\,.\,\sqrt{\frac{\lambda}{a}\,(a + r)\,.\,r}$$

Dies zeigt, wenn man nach und nach 0, 1, 2, 3 rc. für n setzt, daß

die Durchmesser der abwechselnd dunkeln und hellen Ringe sich wie die Quadratwurzeln dieser Zahlen verhalten.

Ist die Dicke der Platte gegen den Abstand der Tafel klein, so ist auch a klein, und der Werth von y wird

$$y = r\sqrt{n}.\sqrt{\frac{\lambda}{a}}$$

woraus man sieht, daß für Stralen von bestimmter Brechbarkeit die Durchmesser der Ringe sich direct wie der Abstand der Tafel, und umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus der Dicke der Platte verhalten.

Endlich verhalten sich die Durchmesser eines Ringes von derselben Ordnung in verschiedenem homogenen Lichte, wie die Quadratwurzeln der Undulationslängen. Dies ist dasselbe Gesetz, als bei den zwischen Objectivgläsern gebildeten Ringen. Betrachten wir daher statt des homogenen Lichtes weißes, so müssen wir eine Reihe von Ringen erhalten, deren Ordnung der der durchgelassenen Ringe in dem vorhergehenden Versuche gleich ist.

Die von einem einzelnen Puncte A zerstreuten Stralen sind aber zu schwach, als daß sie sichtbare Ringe geben könnten. Nehmen wir jedoch an, daß die Oberflächen concentrische Kugeln (Fig. 34.) sind, welche G zum gemeinschaftlichen Mittelpuncte haben, so werden alle Stralen G A, G A′, die auf diese Oberflächen fallen, und respectiv senkrecht auf die Tafeln G M, G M′ sind, auf diesen Systeme von Ringen hervorbringen, von denen G der Mittelpunct ist. Wenn der Bogen A A′ nicht sehr groß ist, so werden die beiden, auf die Stralen G A, G A′ senkrechten Tafeln nahe zusammenfallen, so daß auf der einzigen Tafel, die man ihnen substituiren kann, die Ringe, die jeder Punct der Oberfläche erzeugt, merklich genau auf einander fallen und so im Verhältniß der Oberfläche der Kugeln an Intensität zunehmen werden.

Dies nun ist gerade der Fall bei dem angeführten Newton'schen Versuche; denn da die Sonne ein leuchtender Körper von bedeutender Größe ist, so kann die Öffnung im Mittelpuncte der Kugeln als ein Stück der Sonne von dieser Größe an diesem Orte befindlich betrachtet werden. Hievon kann man jeden untheilbaren Punct als einen Ursprung eines Systems von Wellen ansehen, von denen jedes seine eigene Reihe von Ringen auf der Tafel hervorbringt. Wäre die Öffnung unendlich klein, so würden diese Ringe unendlich reiner in ihren Farben erscheinen, als die durch Objectivgläser durchgelassenen Ringe, weil sie nicht mit der großen Menge von weißem Lichte vermischt sind, die der Interferenz entgeht. Allein wegen der Größe der Öffnung fallen ihre Mittelpuncte nicht genau auf einander, und daher vermischen sich ihre Farben mit einander, und dies um so mehr, je größer die Öffnung ist.

Ist c die Dicke des Glases, so haben wir, da Q der zu A gehörige Brennpunct ist, wenn wir den Halbmesser der Oberfläche B, r + c setzen, nach den Gesetzen der Brechung durch sphärische Oberflächen

$$BQ = \frac{r + c}{r - c} \cdot c; \; AQ = \frac{2rc}{r' - c}$$

und wenn $\mu$ das Brechungsverhältniß bedeutet

$$Aq = a = \frac{2cr}{2c - \mu(r + c)}$$

und wenn c im Verhältniß zu r sehr klein ist, so erhalten wir

$$a = \frac{2c}{\mu}; \; y = r\sqrt{n} \cdot \sqrt{\frac{\mu}{2} \cdot \frac{\lambda}{c}}$$

welches zeigt, daß die Durchmesser der Ringe sich in diesem Falle direct wie die Wurzel aus dem Brechungsverhältniß und umgekehrt wie die Quadratwurzel der Dicke des Glases verhalten.

Reduciren wir diesen Werth auf Zahlen, indem wir z. B. $\mu = \frac{3}{2}$ $a = 4$, $r = 6$ Fuß $= 72$ Zoll und $\lambda = \frac{2}{89000}$ = der Länge einer Undulation des gelben Lichtes oder ungefähr $= \frac{2}{90000}$ nehmen, so finden wir für den Durchmesser des zweiten hellen Ringes im gelben Lichte (welches dem hellsten Theile desselben Ringes in Weiß entspricht),

$$2y = 72\sqrt{4 \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{2}{90000} \cdot 4} = 2{,}35$$

welches fast genau mit Newton's Messung $2\frac{3}{8} = 2{,}375$ übereinstimmt.

Ist der Spiegel gegen den einfallenden Stral geneigt, so werden die Erscheinungen verwickelter, und sie sind von Newton sehr schön beschrieben worden (Optics, Th. IV. Buch II. Beob. X.). In diesem Falle liegen die Axen der beiden zusammentreffenden Stralenkegel nicht mehr auf einander, da diese Axen immer die einfallenden und zurückgeworfenen Stralen sind; allein dieselben Grundsätze lassen sich in jeder Hinsicht auch auf diesen Fall anwenden.

Herschel fügt hiezu noch die Erklärung der von Brewster beobachteten und in den Transact. of the royal Soc. of Edinb. beschriebenen, gefärbten Streifen, die durch gegen einander geneigte dicke Glasplatten hervorgebracht werden, nach den Gesetzen der Interferenz im Sinne der Undulationstheorie. Auch diese Erklärung wollen wir hier mittheilen.

Diese Streifen erscheinen, wenn zwei parallelflächige Glasplatten von genau gleicher Dicke, bB, aA (Fig. 55.), schwach gegen einander geneigt werden, und durch beide unter fast senkrechten Einfallswinkeln ein kreisrunder leuchtender Körper, z. B. ein Stück des Himmels, betrachtet wird. Man sieht dann außer dem directen Bilde noch eine Reihe von Seitenbildern, die zwischen den Gläsern reflectirt und nach und nach schwächer werden, je nachdem sie durch 2, 4, 6 oder mehr innere Zurückwerfungen entstehen; sie sind jedoch alle, das erste ausgenommen, so schwach, daß sie

kaum sichtbar sind, außer wenn man sehr starkes Licht anwendet. Das directe Bild ist farblos, allein das zurückgeworfene wird von 15 oder 16 schön gefärbten Streifen durchkreuzt, die mit dem gemeinschaftlichen Durchschnitte der Oberfläche der Glasplatten parallel laufen. Ihre Breite nimmt schnell ab, so wie der Neigungswinkel der Platten wächst. Hatten die gebrauchten Platten 0,121 Zoll Dicke, und betrug der Neigungswinkel 1° 11′, so betrug die Breite des Streifen 26′ 50″, und bei allen anderen Neigungen verhielt sich die Breite umgekehrt wie die Neigung. Bei schiefen Einfallswinkeln sieht man die Streifen, wenn die Einfallsebene mit der Hauptdurchschnittsebene der Glasplatten einen rechten Winkel macht, allein sie sind am deutlichsten, wenn beide Ebenen parallel laufen.

Um ihre Entstehung zu begreifen, wollen wir die Oberflächen der Platten der Reihe nach durch A, a, B, b bezeichnen, indem wir bei derjenigen anfangen, auf welche das einfallende Licht zuerst kommt, und einen Stral oder ein System von Wellen betrachten, das von einem gemeinschaftlichen Ursprung in unendlicher Entfernung ausgeht. Fällt dann dieser Stral auf die Platten, so erleidet er an jeder Oberfläche eine partielle Zurückwerfung, und der übrige Theil geht durch; jeder der verschiedenen Theile wird wieder in Unterabtheilungen zerlegt, sobald er irgend eine Oberfläche antrifft. Jedes Bild besteht daher aus verschiedenen Stralen, deren letzte Richtungen parallel sind, die aber das Glas auf verschiedenen Wegen durchlaufen haben. So besteht das directe oder Hauptbild aus

1) dem ganzen Theile des einfallenden Lichtes, welches in A, a, B, b gebrochen wird, und dem einfallenden Stral parallel heraustritt; dies bezeichnen wir durch AaBb;

2) einem in A gebrochenen, in a zurückgeworfenen, wieder in A zurückgeworfenen, und in a, B, b gebrochenen Theil, den wir durch Aa′A′aBb bezeichnen, wo die Buchstaben die Oberflächen, die Accente Zurückwerfung, und die nicht accentuirten Brechung bedeuten;

3) einem Theil, der zwei ähnliche Zurückwerfungen im Innern der zweiten Platte erlitten hat, und der auf ähnliche Art durch AaBb′B′b bezeichnet werden kann;

4) anderen Theilen, die 4, 6 und mehr Zurückwerfungen in jeder Platte erlitten haben, und die durch solche Combinationen wie Aa′A′a′A′aBb, AaBb′B′b′B′b oder der Kürze wegen durch A $(a'A)^2$ aBb, AaB $(b'B')^2$ b ꝛc. bezeichnet werden können; allein diese letzteren Theile sind zu schwach, als daß sie einen merklichen Einfluß auf das Licht des directen Bildes, mit dem sie sich vermischen, haben könnten.

Das erste reflectirte Seitenbild besteht aus 4 Haupttheilen, von denen jeder 2 Zurückwerfungen erlitten hat, nämlich:

AaB′a′Bb;
AaB′aA′aBb;
AaBb′Ba′Bb;
AaBb′aA′aBb:

welche mit parallel [illegible]. Außer diesen giebt es eine unendliche Reihe anderer, die durch eine größere Anzahl Zurückwerfungen, und die Theile Aa' A' a des innerhalb des ersten Glases reflectirten Lichtes des einfallenden Strales gebildet werden; diese sind aber alle zu schwach, um auf das Bild zu wirken, welches wir daher bloß aus den 4 angegebenen Stralen bestehend ansehen können. Wenden wir nun unsern Blick auf die Fig. 85, so sehen wir den Weg, den jeder dieser Theile 1, 2, 3, 4 beschreibt, und es ist einleuchtend, daß der erste Theil die Dicke (t) zweimal, den Zwischenraum (i) zwischen den Gläsern [illegible] durchlaufen hat, oder beinahe [illegible] (indem wir hier alle Rücksicht auf die Neigung der Platten bei Seite setzen). Der zweite Theil hat [illegible], der dritte [illegible], der vierte [illegible] durchlaufen. Hieraus sieht man, daß die Theile 1 und 4 in ihren Wegen beinahe um viermal die Dicke des Glases verschieden sind; und sie können daher keine Farben hervorbringen; allein die beiden anderen Theile haben bei senkrechtem Einfallen gar keinen Unterschied, und werden bei kleinen Neigungen der Glasplatten und der Stralen nur wegen der kleinen Unterschiede der Neigungen, unter welchen sie die Dicke des Glases und den Zwischenraum durchlaufen, von einander verschieden sein. Sie werden also zusammentreffen und Farben hervorbringen, welches bloß aus dem Verzögerungsraum beider Stralen hinter einander, vermöge der verschiedenen Schiefe der Stralen, die das Auge treffen, entsteht.

[illegible] wir nun einen [illegible] Körper von unendlicher Weite, so fallen die Stralen, durch welche wir seine verschiedenen Puncte sehen, unter allen möglichen Ebenen und Neigungen ein; folglich erscheint das Bild in seinen verschiedenen Puncten auch verschieden gefärbt, und die Anordnung dieser Farben befolgt dasselbe Gesetz, welches die Verzögerungsräume bestimmt. Die Farben sind daher in Streifen, Kreisen oder anderen Formen geordnet, der Gestalt der krummen Linien zufolge, welche geometrisch aus der Betrachtung der in jedem Puncte ihres Weges Statt findenden gleich großen Verzögerungsräume entstehen. Solche Curven wollen wir isochromatische Linien oder Linien von gleicher Farbe nennen, und in allen Fällen die Farbe numerisch durch die Anzahl der Undulationen oder in Theilen derselben des gelben Lichtes ausdrücken, denen der Verzögerungsraum gleich ist.

Wir wollen zuerst den Fall betrachten, wo der Stral in einer Ebene einfällt, die senkrecht auf dem gemeinschaftlichen Durchschnitte steht. In diesem Falle (Fig. 86.) sei KLMN ein Stral, der durch die Vereinigung der beiden Stralen SAaBbIKL und SCEFGHKL entstanden ist, deren Weg durch das System dem von 2 und 3 Fig. 85. ähnlich ist. Man ziehe AD senkrecht auf DC, so ist der Verzögerungsraum gleich

$$(DC + CE + EF + FG + GH + HK) - (Aa + aB + Bb + bI + IK)$$
$$= DC + (EF - aB) + (FG - IK) + 2(KH - Bb).$$

Die drei ersten Theile liegen in der Luft, der letztere in Glas. Ohne nun erst eine trigonometrische Rechnung anzustellen, ist es einleuchtend, daß dies Polynom bei senkrechtem Einfalle sehr klein ist und schnell wächst, so wie der Einfallswinkel zunimmt, und daß es überdies fast um gleiche Incremente wächst, so wie sich der Einfallswinkel von Null an auf beiden Seiten gleich viel ändert (während die gegenseitige Neigung der Platten constant bleibt). In einer Richtung, die senkrecht auf dem Durchschnitte der Flächen steht, werden sich daher die Farben schnell ändern, und bei mäßiger Schiefe des Einfalles wird der Verzögerungsraum zu groß sein, als daß er Farben hervorbringen könnte. Nehmen wir im Gegentheil an, daß die Stralen SA, SC in einer Ebene einfallen, die dem Hauptdurchschnitte beinahe parallel liegt, so liegen die Puncte K und G nicht wie in der Figur in verschiedenen Abständen von P, sondern fast in gleichem Abstande, so daß (der Einfallswinkel mag sein, welcher er will) KI beinahe gleich GF ist, und aus derselben Ursache ist FE beinahe gleich aB. Außerdem ist in diesem Falle FI beinahe gleich GK, so wie auch die inneren Einfallswinkel einander fast gleich sind, so daß GH + GK sehr wenig von Bb + bI verschieden ist, und IB ist sehr nahe gleich GK, also auch gleich IF, so daß F beinahe mit B zusammenfällt; die Stralen SAaB, SCEF werden auch fast zusammenfallen, wo DC = o wird, und diese genäherte Gleichheit, so wie das Zusammenfallen, wird für große Änderungen im Einfallswinkel Statt finden, vorausgesetzt, daß die Einfallsebene ungeändert bleibt, so daß in einer mit dem Durchschnitte parallelen Richtung die Farben sich nur wenig ändern. Hieraus sieht man, daß sie auf die von Dr. Brewster angegebene Art geordnet sein werden, nämlich in Streifen, die mit dieser Linie parallel sind. Ihr analytischer Ausdruck ist jedoch zu verwickelt, als daß er hier angegeben werden könnte, obgleich er aus dem Gesagten sehr leicht gefunden wird.

Dr. Brewster machte dadurch, daß er den im directen Bilde durchgelassenen Hauptstral auffing, und im Auge bloß die Stralen erhielt, welche die farbigen Streifen bilden, wie die Stücke Aa′A′aBb, AaBb′B′b, eine Reihe Streifen sichtbar, die sonst von dem zu starken Lichte des directen Strales verborgen werden. Sie entstehen aus der Interferenz der beiden Stralen, deren Weg durch 4t + i ausgedrückt wird, und diese würden daher genau gleich sein, wenn die Platten ganz parallel wären. Ihre Theorie, so wie auch die aller übrigen Systeme von Streifen, die Dr. Brewster in der angeführten Abhandlung angegeben hat, wird aus der Ansicht der Figur deutlich.

Talbot hat bei der Betrachtung dünner Glashäutchen in homogenem gelben Lichte und sogar im bloßen Tageslichte bemerkt, daß, wenn zwei solcher dünner Blättchen auf einander gelegt werden, sich helle und dunkle Streifen oder gefärbte Fransen von unregelmäßiger Form zeigen, obgleich man sie bei ihnen einzeln genommen nicht sieht. Diese lassen sich nach demselben Princip erklären, indem die Interferenz hier bei denjenigen Stralen

welche alle parallel ausfahren. Außer diesen giebt es eine unendliche Menge anderer, die durch eine größere Anzahl Zurückwerfungen, und die Theile Aa′A′a des innerhalb des ersten Glases reflectirten Lichtes des einfallenden Strales gebildet werden; diese sind aber alle zu schwach, um auf das Bild zu wirken, welches wir daher bloß aus den 4 angegebenen Stralen bestehend ansehen können. Wenden wir nun unsern Blick auf die Fig. 35., so sehen wir den Weg, den jeder dieser Theile 1, 2, 3, 4 beschreibt, und es ist einleuchtend, daß der erste Theil die Dicke (t) zweimal, den Zwischenraum (i) zwischen den Gläsern dreimal durchlaufen hat, oder beinahe $2t + 3i$ (indem wir jetzt alle Rücksicht auf die Neigung der Platten bei Seite setzen). Der zweite Theil hat $4t + 3i$, der dritte $4t + 3i$, der vierte $6t + 3i$ durchlaufen. Hieraus sieht man, daß die Theile 1 und 4 in ihren Wegen beinahe um viermal die Dicke des Glases verschieden sind, und sie können daher keine Farben hervorbringen; allein die beiden anderen Theile haben bei senkrechtem Einfallen gar keinen Unterschied, und werden bei kleinen Neigungen der Glasplatten und der Stralen nur wegen der kleinen Unterschiede der Neigungen, unter denen sie die Dicke des Glases und den Zwischenraum durchlaufen, von einander verschieden sein. Sie werden also zusammentreffen und Farben hervorbringen, welches bloß aus dem Verzögerungsraum beider Stralen hinter einander, vermöge der veränderlichen Schiefe der Stralen, die das Auge treffen, entsteht.

Betrachten wir nun einen leuchtenden Körper von merklicher Größe, so fallen die Stralen, durch welche wir seine verschiedenen Puncte sehen, unter allen möglichen Ebenen und Neigungen ein; folglich erscheint das Bild in seinen verschiedenen Puncten auch verschieden gefärbt, und die Anordnung dieser Farben befolgt dasselbe Gesetz, welches die Verzögerungsräume bestimmt. Die Farben sind daher in Streifen, Kreisen oder anderen Formen geordnet, der Gestalt der krummen Linien zufolge, welche geometrisch aus der Betrachtung der in jedem Puncte ihres Weges Statt findenden gleich großen Verzögerungsräume entstehen. Solche Curven wollen wir i s o c h r o m a t i s c h e Linien oder Linien von gleicher Farbe nennen, und in allen Fällen die Farbe numerisch durch die Anzahl der Undulationen oder in Theilen derselben des gelben Lichtes ausdrücken, denen der Verzögerungsraum gleich ist.

Wir wollen zuerst den Fall betrachten, wo der Stral in einer Ebene einfällt, die senkrecht auf dem gemeinschaftlichen Durchschnitte steht. In diesem Falle (Fig. 36.) sei KLMN ein Stral, der durch die Vereinigung der beiden Stralen SAaBbIKL und SCEFGHKL entstanden ist, deren Weg durch das System dem von 2 und 3 Fig. 35. ähnlich ist. Man ziehe AD senkrecht auf DC, so ist der Vergrößerungsraum gleich

$$\begin{aligned} &(DC + CE + EF + FG + GH + HK) \\ &- (Aa + aB + Bb + bI + IK) \\ &= DC + (EF - aB) + (FG - IK) \\ &\quad + 2(KH - Bb). \end{aligned}$$

Die drei ersten Theile liegen in der Luft, der letztere in Glas. Ohne nun erst eine trigonometrische Rechnung anzustellen, ist es einleuchtend, daß dies Polynom bei senkrechtem Einfalle sehr klein ist und schnell wächst, so wie der Einfallswinkel zunimmt, und daß es überdies fast um gleiche Incremente wächst, so wie sich der Einfallswinkel von Null an auf beiden Seiten gleich viel ändert (während die gegenseitige Neigung der Platten constant bleibt). In einer Richtung, die senkrecht auf dem Durchschnitte der Flächen steht, werden sich daher die Farben schnell ändern, und bei mäßiger Schiefe des Einfalles wird der Verzögerungsraum zu groß sein, als daß er Farben hervorbringen könnte. Nehmen wir im Gegentheil an, daß die Stralen SA, SC in einer Ebene einfallen, die dem Hauptdurchschnitte beinahe parallel liegt, so liegen die Puncte K und G nicht wie in der Figur in verschiedenen Abständen von P, sondern fast in gleichem Abstande, so daß (der Einfallswinkel mag sein, welcher er will) KI beinahe gleich GF ist, und aus derselben Ursache ist FE beinahe gleich aB. Außerdem ist in diesem Falle FI beinahe gleich GK, so wie auch die inneren Einfallswinkel einander fast gleich sind, so daß GH + GK sehr wenig von Bb + bI verschieden ist, und IB ist sehr nahe gleich GK, also auch gleich IF, so daß F beinahe mit B zusammenfällt; die Stralen SAaB, SCEF werden auch fast zusammenfallen, wo DC = o wird, und diese genäherte Gleichheit, so wie das Zusammenfallen, wird für große Änderungen im Einfallswinkel Statt finden, vorausgesetzt, daß die Einfallsebene ungeändert bleibt, so daß in einer mit dem Durchschnitte parallelen Richtung die Farben sich nur wenig ändern. Hieraus sieht man, daß sie auf die von Dr. Brewster angegebene Art geordnet sein werden, nämlich in Streifen, die mit dieser Linie parallel sind. Ihr analytischer Ausdruck ist jedoch zu verwickelt, als daß er hier angegeben werden könnte, obgleich er aus dem Gesagten sehr leicht gefunden wird.

Dr. Brewster machte dadurch, daß er den im directen Bilde durchgelassenen Hauptstral auffing, und im Auge bloß die Stralen erhielt, welche die farbigen Streifen bilden, wie die Stücke Aa′A′aBb, AaBb′B′b, eine Reihe Streifen sichtbar, die sonst von dem zu starken Lichte des directen Strales verborgen werden. Sie entstehen aus der Interferenz der beiden Stralen, deren Weg durch 4t + i ausgedrückt wird, und diese würden daher genau gleich sein, wenn die Platten ganz parallel wären. Ihre Theorie, so wie auch die aller übrigen Systeme von Streifen, die Dr. Brewster in der angeführten Abhandlung angegeben hat, wird aus der Ansicht der Figur deutlich.

Talbot hat bei der Betrachtung dünner Glashäutchen in homogenem gelben Lichte und sogar im bloßen Tageslichte bemerkt, daß, wenn zwei solcher dünner Blättchen auf einander gelegt werden, sich helle und dunkle Streifen oder gefärbte Fransen von unregelmäßiger Form zeigen, obgleich man sie bei ihnen einzeln genommen nicht sieht. Diese lassen sich nach demselben Princip erklären, indem die Interferenz hier bei denjenigen Stralen

dasselbe deutlich sehen zu können, so kann man diese Entfernung vermindern; bei den gewöhnlichen Fernröhren wird man diese Distanz meistens über 4 Fuß vergrößern müssen, weil ihr Ocular nicht so weit vom Objective entfernt werden kann, um das Bild eines nur 8 Fuß vom Objective abstehenden Körpers in die deutliche Sehweite bringen zu können.

Die Spiegel müssen gegen das an der Fensteröffnung befindliche Glas so gestellt werden, daß die gerade Linie, in welcher sich ihre spiegelnden Flächen schneiden, mit der Axe des cylindrischen Glases parallel ist; die Stellung der Spiegel gegen das Fernrohr ist dem Zwecke angemessen, wenn man beide Bilder der Lichtlinie im Gesichtsfelde hat.

Stehen diese zwei Bilder zu weit von einander ab, so vermindert man mittelst der Schraube d die Neigung der Spiegel gegen einander, bis die rechte Entfernung der Bilder eingetreten ist. Ist dieses der Fall, so sieht man von jedem Bilde rechts und links einen Lichtstreifen von der Höhe der Lichtlinie ausgehen. Fallen diese Streifen von beiden Öffnungen zwischen zwei parallele Linien, so daß sie gleichsam einen continuirlichen Streifen bilden, so haben die Spiegel die gehörige Lage gegen einander, widrigenfalls muß man diese Lage mittelst der Schraube m dahin abändern, daß die Lichtstreifen die genannte Lage erhalten.

---

## IX. Objective Farbenerscheinungen durch nicht polarisirtes Licht *).

### Farbentheorie von Hellwag.

Hellwag **) glaubt die Newton'sche Farbentheorie durch eine Modification derselben zu verbessern, nach der das Spectrum nicht durch Stralen, deren Brechbarkeit sich von einem Ende des Spectrums zum andern continuirlich ändert, sondern bloß durch 4 Stralen verschiedener Brechbarkeit, die sich dessenungeachtet zum Theil im Spectrum decken sollen, erzeugt werden soll. Vielleicht verstehen Andere besser als ich die Möglichkeit, die Erscheinungen nach dieser Annahme zu repräsentiren. Ich überlasse es den Lesern, das Nähere darüber in der Originalabhandlung selbst nachzusehen.

### Farbentheorie von Crum.

Crum hat in einem besondern Werkchen ***) eine Farbentheorie aufgestellt, von der es zur geschichtlichen Kenntniß hinreichen wird, die Notiz

*) Von einigen hieher gehörigen Erscheinungen ist schon im vorigen Abschnitte die Rede gewesen.

**) Kastn. Arch. IV. 51.

***) An experimental inquiry into the number and properties of the primary colours and the source of colour in the prism. 1830.

mitzutheilen, die Marx (Schweigg. LXIII. 54) davon gegeben hat, indem sie keine weitere Erörterung verdienen möchte.

Crum glaubt mit Dr. Reade (in den Grundlinien einer neuen Theorie der Farben. London 1816.) annehmen zu müssen, die Farben entständen nicht aus dem Lichte und auch nicht aus dem Zusammenwirken von Licht und Dunkelheit, sondern aus dem Schwarzen! Dieses folgert er hauptsächlich aus einem Versuche mit dem Prisma, durch welches eine schwarze Linie auf hellem Grunde betrachtet, sich in einen Streifen von blau, roth und gelb auflöst. Diese seien also die Grundfarben und sie würden durch Brechung aus dem Schwarzen, welches hinwieder aus ihnen gemischt sei, hervorgelockt. Eben so sei in dem durch das Prisma farbig gebrochenen Spectrum des Sonnenbildes die Dunkelheit oder der Schatten über und unter demselben die Ursache der Farben. Grün entstünde durch das Zusammenfallen von Gelb und Blau zweier Spectra; eben so Orange aus Gelb und Roth. Nur diese letztere Annahme stimmt mit der von Göthe überein, dessen Werk übrigens dem Engländer gänzlich unbekannt geblieben zu sein scheint.

## Farbenscale von Nobili *).

Nobili **) hat von den Färbungen, die sich auf Metallplatten durch geeignete Anwendung des Galvanismus (vergl. S. 11) hervorbringen lassen, Nutzen zur Einrichtung einer vergleichbaren Farbenscale gezogen. Je nachdem man nämlich die galvanische Wirkung kürzere oder längere Zeit auf eine solche Platte anwendet, bilden sich dünnere oder dickere Überzüge darauf, deren Farbe gerade so in Abhängigkeit von ihrer Dicke steht, als bei den Newton'schen Farbenringen.

Die Scale Nobili's besteht aus 44 Farbentinten, deren jede auf eine Stahlplatte applicirt ist. Sie sind nach der Reihenfolge der Dicken geordnet, welche die dünnen Überzüge, die die Farben hervorbringen, haben, so daß Nr. 1. der Farbe des dünnsten, Nr. 44. der Farbe des dicksten Überzuges der Scale entspricht. Folgende Tafel zeigt die Anordnung dieser Scale ***).

*) Von der Einrichtung einer Farbenscale nach Biot's Vorschlag wird erst unter den Farbenerscheinungen durch polarisirtes Licht die Rede sein.

**) Bibl. univ. 1830. Août. 337 oder Erdmann's J. IX. 157 oder Schweigg. J. LXI. 406.

***) Die in Parenthesen hinzugefügten Zahlen dienen zur Bezeichnung des Verhältnisses der Dicke der Überzüge, welche die Farben hervorbringen, so daß z. B. die Dicke des Überzuges Nr. 11., welche das Violett hervorbringt, sich zur Dicke des Überzuges Nr. 7., welche das Kupferroth hervorbringt, merklich wie 8 : 5 verhält; doch sind diese Zahlen nur approximativ, mit Vernachlässigung von Bruchtheilen, gegeben. Es sind diese Zahlen aus der Newton'schen Tabelle (Biot V. 40) gezogen, und sie würden, auf Wasserschichten bezogen, die absolute Dicke derselben in Milliontheilen eines englischen Zolles ausdrücken. Kennte man das Brechungsverhältniß der Substanzen, welche die farbigen Überzüge auf den Platten bilden, so würde sich hieraus auch die absolute Dicke dieser Überzüge berechnen lassen.

| | | |
|---|---|---|
| 44. Lacca rosea | Rosa-Lackfarben | (30. |
| 43. Verde-giallo-rossiccio | Röthlich Grüngelb | (28. |
| 42. Verde-giallo | Gelblich Grün | (27. |
| 41. Verde | Grün | (26. |
| 40. Violaceo-verdognolo | Grünlich Violett | (25. |
| 39. Lacca violacea | Violett Lackfarben | (24. |
| 38. Lacca-rosea | Rosa-Lackfarben | (22. |
| 37. Rancio-rosea | Rosa-Orange | |
| 36. Rancio-verde | Grünlich Orange | (21. |
| 35. Verde-rancio | Orange-Grün | |
| 34. Verde-giallo | Grüngelb | (20. |
| 33. Verde-giallognolo | Gelblich Grün | |
| 32. Verde | Grün | (19. |
| 31. Porpora verdognola | Grünlich Purpur | (18. |
| 30. Lacca-turchiniccia | Bläulich Lackfarben | (17. |
| 29. Lacca-purpurea | Purpurlack | (16. |
| 28. Lacca-accesa | Brennend Lackfarben | (15. |
| 27. Lacca | Lackfarben | |
| 26. Lacca-rancio | Orange-Lack | (14. |
| 25. Rosso-rancio | Orange-Roth | |
| 24. Rancio-rosso | Roth Orange | |
| 23. Rancio-rossiccio | Röthlich Orange | |
| 22. Rancio | Orange | (13. |
| 21. Giallo-rancio | Orange-Gelb | |
| 20. Giallo-acceso | Brennend Orange | |
| 19. Giallo | Gelb | |
| 18. Giallo-chiarissimo | Sehr hell Gelb | (12. |
| 17. Celeste-giallognolo | Gelblich Himmelblau | |
| 16. Celeste | Himmelblau | |
| 15. Bleu-chiaro | Hellblau | (11. |
| 14. Bleu | Blau | |
| 13. Bleu-carico | Tiefblau | |
| 12. Indaco | Indigo | (10. |
| 11. Violetto | Violett | (8. |
| 10. Rosso-violaceo | Violett-Roth | (7. |
| 9. Ocrio-violaceo | Violett Ocherfarben | |
| 8. Ocrio | Ocherfarben | |
| 7. Rosso di rame | Kupferroth | (6. |
| 6. Fulvo acceso | Brennend Gelb | |
| 5. Fulvo | Brandgelb | |
| 4. Biondo-acceso | Brennend Blond | (5. |
| 3. Biondo d'oro | Goldgelb | |
| 2. Biondo | Blond | |
| 1. Biondo-argentico | Silberfarben | (4. |

Die Farben von Nr. 1. bis 10. entsprechen dem *ersten*, von Nr. 11. bis 28. dem *zweiten*, von Nr. 29. bis 38. dem *dritten* und von Nr. 39. bis 44. dem *vierten* der Newton'schen zusammengesetzten Ringe. Allerdings hat *Nobili* hiebei Einiges anders gefunden, als *Newton*. So konnte er in der Farbe des *ersten* Ringes kein *Blau* *) finden, und was *Newton* *Gelb* und *Orange* in diesem Ringe nennt, trägt nach *Nobili* einen ganz andern Charakter als Gelb und Orange, und geht bloß aus der Zusammendrängung der Reihe *weiß-* und *rothgelber* Farbentinten der Scale hervor; in den Farben des *zweiten* Ringes vermochte *Nobili* das *Grün* nicht zu entdecken, was *Newton* zwischen Blau und Gelb stellt, und zwar boten ihm nicht nur die Farben der Scale kein solches für diese Stelle dar, sondern er versichert auch, bei direkter Betrachtung der Newton'schen Ringe an der Stelle, wo sich das Grün befinden sollte, nie etwas anderes, als ein mit Azur nuancirtes Weiß, welches den Farben Nr. 15., 16. und 17. der Scale entspricht, wahrgenommen zu haben. Auch führt er an, daß Professor *Amici*, der auf seine Bitte die Newtonschen Ringe mit allen ihm zu Gebote stehenden Mitteln untersucht habe, ebenfalls kein *Blau* im *ersten*, kein *Grün* im *zweiten* Ringe zu entdecken vermochte.

Die Betrachtung der Nobili'schen Farbenscale scheint einen für das Auge sehr angenehmen Eindruck zu machen. Der Verfasser sagt davon: „Ich habe meine Scale einer großen Menge von Personen und namentlich Gelehrten, die mich bei ihrer Durchreise von Reggio mit ihrem Besuche beehrten, gezeigt; alle stimmen in der angenehmen Empfindung überein, die ihnen der Anblick dieser Farben verursachte, welche sich von einem Tone zum andern auf so harmonische Weise abstufen, daß das Auge sich gedrungen fühlt, immer von Neuem dazu zurückzukehren, um sich das Vergnügen dieses Schauspieles zu verlängern. Es liegt hierin keine Übertreibung, vielmehr könnte ich noch stärkere Ausdrücke brauchen, ohne der Wahrheit zu nahe zu treten, so groß ist die Wollust (volupté), wenn man mir dieses Wort erlauben will, welche das Anschauen unserer Farbenscale erweckt."

*Charakteristik der verschiedenen Farben der Scale und Vergleichung mit Farben der Natur.* Durch Betrachtung der Farben seiner Farbenscale, welche angegebenermaßen mit denen der Newton'schen Ringe übereinstimmen, hat *Nobili* Folgendes gefunden:

*Farben des ersten Ringes.* Die weiß- und hellgelben Farbentinten des ersten Farbenringes (Nr. 1. bis 10.) haben ein gewisses Feuer, etwas Metallisches und gleichen ein wenig den Farben des Goldes und Kupfers. Sie sind, wegen ihrer Zusammensetzung, durch die sie mehr als

*) Es läßt sich indeß nach *Newton's* Beobachtungen an Seifenblasen (Biot V. 20), die nicht wohl eine Täuschung gestatteten, schwer annehmen, daß kein Blau in den Farben des ersten Ringes vorhanden sein sollte. Doch beträgt es nach *Newton* selbst nur wenig.

die andern von den prismatischen Farben abweichen, sehr schwer nachzuahmen. In der Natur findet man sie namentlich: an den Haaren der Thiere, an den Federn verschiedener Vögel, an den Fasern gewisser trockener Hölzer, wie des Nußbaumes, Birnbaumes rc.; an den Ährenspitzen (barbes) der Cerealien, wie des Waizens, der Gerste, des Roggens rc.; am Rauche, der sich am Ende der Flamme entwickelt; an den Decocten gerösteter Saamen, wie der Gerste, des Kaffee rc.; in dem Hofe, den man oft um den Mond beobachtet, wenn er mit Nebel oder schwachen Wolken bedeckt ist.

Die Farben der **Wolken** sind in den Farben des ersten Ringes, die beiden ersten des zweiten Ringes mit hinzugerechnet, eingeschlossen; die **Rauchfarben** der Wolken entspringen namentlich aus der mehr oder weniger innigen Verschmelzung des Weißen und Brandgelben; die **Feuerfarben** der Wolken entspringen aus Nr. 8., 9. und 10.; das dunkle Blau der Wolken aus Nr. 10, 11., 12. *).

**Das erste Weiß** ist eigentlich die Farbe der **Kinderhaare**. Es ist merkwürdig, daß diese Farbe mit der Zeit dunkler wird, gerade so, wie es die Scale angiebt, wenn man allmälig zu Nr. 2., 3. und 4. übergeht.

Die Farbe des Goldes und Kupfers glaubt **Newton** dem zweiten oder dritten Ringe angehörig. Nach **Nobili** hingegen nähern sie sich mehr denen des ersten Ringes, wiewohl keine vollkommene Übereinstimmung Statt findet.

**Farben des zweiten Ringes** Nr. 11. bis 28. Dieser Ring umfaßt die schönsten Farben unter den übrigen, und welche sich denen des Spectrums am meisten nähern. In der Natur entsprechen ihnen die Farben des Himmels, wie sie sich beim Anbruche des Tages entwickeln, wenn der Himmel möglichst dunstfrei ist.

**Farben des dritten** (Nr. 29. bis 38.) **und vierten Ringes** (Nr. 39. bis 44). Sie zeichnen sich vor denen des zweiten und dritten durch ihre **Kraft** und den Hinzutritt des **Grünen** aus. Das erste Grün erscheint in dem dritten Ringe bei Nr. 32. der Scale, und aufs Neue in dem vierten Ringe bei Nr. 41. Diese beiden Farben sind gleich schön und wenig von einander verschieden; der wichtigste Unterschied besteht in der Durchsichtigkeit, welche im vierten geringer ist, als im dritten.

Die in beiden Ringen enthaltenen Farben werden häufig in den drei Naturreichen angetroffen; namentlich scheint das Pflanzenreich dieselben in großer Menge zu enthalten.

*) Aus dem Umstande, daß die Farben der Wolken nicht über Nr. 12. hinausgehen, und daß die Dicke der Wasserschicht, welche diese Farben zurückwirft, etwa 10 Milliontheil eines englischen Zolles nach **Newton** beträgt, schließt **Nobili**, daß die Hülle der Dampfbläschen in keinem Falle dicker als 10 Milliontheil eines englischen Zolles ist. Indeß gilt jene Bestimmung **Newton's** nur für senkrecht einfallende Stralen; bei schiefem Daraufsehen erscheinen aber dieselben Farben bei größeren Dicken, welcher Unterschied jedoch für die inneren Ringe nicht sehr merklich ist. F.

Eigenthümliche Eigenschaften einiger Farben der Scale. Gießt man einen Tropfen Alkohol auf die violette Farbe Nr. 11. und verbreitet ihn so, daß er dieselbe zum Theil bedeckt, so zeigt der befeuchtete Theil nicht mehr die ursprüngliche violette Farbe, sondern an ihrer Stelle eine geschwächte Farbe, welche der des Milchkaffee gleicht, während der nicht befeuchtete Theil seine Farbe behält. Der Unterschied zwischen beiden Farben ist so groß, daß man nicht begreift, wie eine durchsichtige und ganz wasserhelle Schicht Alkohol die violette Farbe, über welche sie verbreitet ist, in solchem Grade abändern kann. Nach Verdampfung des Alkohols kehrt die Farbe zu ihrem ersten Glanze zurück.

Wasser, Öl, Salzauflösungen bringen denselben Erfolg hervor; die Dicke der Flüssigkeitsschicht ist ohne Einfluß auf das Phänomen. Feste durchsichtige Körper, wie Glas, Krystall rc., ändern die violette Farbe nicht, wenn sie unmittelbar darauf gelegt werden. Die Adhäsion des darauf gelegten Körpers an die Platte scheint sonach eine wesentliche Bedingung zur Entstehung der Erscheinung.

Über dem Violett sind das Indig Nr. 12. und das Blau Nr. 13., und weiter abwärts in der Scale das Roth Nr. 10. und die Ockerfarben Nr. 8. und 9. sehr namhaften Veränderungen durch das angezeigte Mittel unterworfen. Bei den anderen Farben der Scale dagegen bemerkt man hiebei keine Veränderungen, oder wenigstens sind sie sehr schwach im Verhältniß zu denen, welche sich bei den in der Nähe des Violett Nr. 11. stehenden Farben zeigen.

Eine Erklärung jener Eigenthümlichkeit hat der Verfasser nicht zu geben vermocht.

Eine andere Eigenthümlichkeit, welche sich bei gewissen Farben zeigt, ist folgende:

Bekanntlich ändert sich die Farbe der Newton'schen Ringe mit der Schiefe des Daraufsehens in der Art, daß eine größere Schiefe denselben Erfolg hat, als wenn man die Schicht dünner machte (was jedoch weniger bei den Farben der Ringe niederer als höherer Ordnungen bemerklich wird). Nun verhalten sich in Nobili's Scale die oberen Farben, welche zwischen dem Roth Nr. 44. und dem Gelb Nr. 21. begriffen sind, nach der Regel. In der That, wenn man diese Farben unter einer gewissen Schiefe betrachtet, sieht man Nr. 44. sich in 43. verwandeln, 43. in 42. u. s. f. Dies Gesetz besteht bis zum Gelb Nr. 21. fort; von dieser Nummer an aber ändert sich die Erscheinung. Die schönen gelben Tinten Nr. 19. und 20. werden azurgrün; die helleren gelben Tinten 18. und 17. verwandeln sich in Roth; die Azurtinten 16. und 15. werden gelblich, die blauen Tinten 14. und 13. bleiben unverändert. Hier endigt sich diese Anomalie, indem von Nr. 12. bis Nr. 1. wieder das gesetzmäßige Verhalten eintritt.

Im Zusammenhange mit dieser Anomalie, welche die Farben des zweiten Ringes darbieten, steht eine besondere Erscheinung, welche die Nobili'schen Farbenringe, wenn sie auf einer Metallplatte hervorgebracht sind,

die andern von den prismatischen Farben abweichen, sehr schwer nachzuahmen. In der Natur findet man sie namentlich: an den Haaren der Thiere, an den Federn verschiedener Vögel, an den Fasern gewisser trockner Hölzer, wie des Nußbaumes, Birnbaumes ꝛc.; an den Ährenspitzen (barbes) der Cerealien, wie des Waizens, der Gerste, des Roggens ꝛc.; am Rauche, der sich am Ende der Flamme entwickelt; an den Decocten gerösteter Saamen, wie der Gerste, des Kaffee ꝛc.; in dem Hofe, den man oft um den Mond beobachtet, wenn er mit Nebel oder schwachen Wolken bedeckt ist.

Die Farben der Wolken sind in den Farben des ersten Ringes, die beiden ersten des zweiten Ringes mit hinzugerechnet, eingeschlossen; die Rauchfarben der Wolken entspringen namentlich aus der mehr oder weniger innigen Verschmelzung des Weißen und Brandgelben; die Feuerfarben der Wolken entspringen aus Nr. 8., 9. und 10.; das dunkle Blau der Wolken aus Nr. 10, 11., 12. *).

Das erste Weiß ist eigentlich die Farbe der Kinderhaare. Es ist merkwürdig, daß diese Farbe mit der Zeit dunkler wird, gerade so, wie es die Scale angiebt, wenn man allmälig zu Nr. 2., 3. und 4. übergeht.

Die Farbe des Goldes und Kupfers glaubt Newton dem zweiten oder dritten Ringe angehörig. Nach Nobili hingegen nähern sie sich mehr denen des ersten Ringes, wiewohl keine vollkommene Übereinstimmung Statt findet.

Farben des zweiten Ringes Nr. 11. bis 28. Dieser Ring umfaßt die schönsten Farben unter den übrigen, und welche sich denen des Spectrums am meisten nähern. In der Natur entsprechen ihnen die Farben des Himmels, wie sie sich beim Anbruche des Tages entwickeln, wenn der Himmel möglichst dunstfrei ist.

Farben des dritten (Nr. 29. bis 38.) und vierten Ringes (Nr. 39. bis 44). Sie zeichnen sich vor denen des zweiten und dritten durch ihre Kraft und den Hinzutritt des Grünen aus. Das erste Grün erscheint in dem dritten Ringe bei Nr. 32. der Scale, und aufs Neue in dem vierten Ringe bei Nr. 41. Diese beiden Farben sind gleich schön und wenig von einander verschieden; der wichtigste Unterschied besteht in der Durchsichtigkeit, welche im vierten geringer ist, als im dritten.

Die in beiden Ringen enthaltenen Farben werden häufig in den drei Naturreichen angetroffen; namentlich scheint das Pflanzenreich dieselben in großer Menge zu enthalten.

*) Aus dem Umstande, daß die Farben der Wolken nicht über Nr. 12. hinausgehen, und daß die Dicke der Wasserschicht, welche diese Farben zurückwirft, etwa 10 Milliontheil eines englischen Zolles nach Newton beträgt, schließt Nobili, daß die Hülle der Dampfbläschen in keinem Falle dicker als 10 Milliontheil eines englischen Zolles ist. Indeß gilt jene Bestimmung Newton's nur für senkrecht einfallende Strahlen; bei schiefem Daraufsehen erscheinen aber dieselben Farben bei größeren Dicken, welcher Unterschied jedoch für die inneren Ringe nicht sehr merklich ist. S.

**Eigenthümliche Eigenschaften einiger Farben der Scale.** Gießt man einen Tropfen Alkohol auf die violette Farbe Nr. 11. und verbreitet ihn so, daß er dieselbe zum Theil bedeckt, so zeigt der befeuchtete Theil nicht mehr die ursprüngliche violette Farbe, sondern an ihrer Stelle eine geschwächte Farbe, welche der des Milchkaffee gleicht, während der nicht befeuchtete Theil seine Farbe behält. Der Unterschied zwischen beiden Farben ist so groß, daß man nicht begreift, wie eine durchsichtige und ganz wasserhelle Schicht Alkohol die violette Farbe, über welche sie verbreitet ist, in solchem Grade abändern kann. Nach Verdampfung des Alkohols kehrt die Farbe zu ihrem ersten Glanze zurück.

Wasser, Öl, Salzauflösungen bringen denselben Erfolg hervor; die Dicke der Flüssigkeitsschicht ist ohne Einfluß auf das Phänomen. Feste durchsichtige Körper, wie Glas, Krystall 2c., ändern die violette Farbe nicht, wenn sie unmittelbar darauf gelegt werden. Die Adhäsion des darauf gelegten Körpers an die Platte scheint sonach eine wesentliche Bedingung zur Entstehung der Erscheinung.

Über dem Violett sind das Indig Nr. 12. und das Blau Nr. 13., und weiter abwärts in der Scale das Roth Nr. 10. und die Ockerfarben Nr. 8. und 9. sehr namhaften Veränderungen durch das angezeigte Mittel unterworfen. Bei den anderen Farben der Scale dagegen bemerkt man hiebei keine Veränderungen, oder wenigstens sind sie sehr schwach im Verhältniß zu denen, welche sich bei den in der Nähe des Violett Nr. 11. stehenden Farben zeigen.

Eine Erklärung jener Eigenthümlichkeit hat der Verfasser nicht zu geben vermocht.

Eine andere Eigenthümlichkeit, welche sich bei gewissen Farben zeigt, ist folgende:

Bekanntlich ändert sich die Farbe der Newton'schen Ringe mit der Schiefe des Daraufsehens in der Art, daß eine größere Schiefe denselben Erfolg hat, als wenn man die Schicht dünner machte (was jedoch weniger bei den Farben der Ringe niederer als höherer Ordnungen bemerklich wird). Nun verhalten sich in Nobili's Scale die oberen Farben, welche zwischen dem Roth Nr. 44. und dem Gelb Nr. 21. begriffen sind, nach der Regel. In der That, wenn man diese Farben unter einer gewissen Schiefe betrachtet, sieht man Nr. 44. sich in 43. verwandeln, 43. in 42. u. s. f. Dies Gesetz besteht bis zum Gelb Nr. 21. fort; von dieser Nummer an aber ändert sich die Erscheinung. Die schönen gelben Tinten Nr. 19. und 20. werden azurgrün, die helleren gelben Tinten 18. und 17. verwandeln sich in Roth, die Azurtinten 16. und 15. werden gelblich, die blauen Tinten 14. und 13. bleiben unverändert. Hier endigt sich diese Anomalie, indem von Nr. 12. bis Nr. 1. wieder das gesetzmäßige Verhalten eintritt.

Im Zusammenhange mit dieser Anomalie, welche die Farben des zweiten Ringes darbieten, steht eine besondere Erscheinung, welche die Nobili'schen **Farbenringe**, wenn sie auf einer Metallplatte hervorgebracht sind,

darbieten *). Betrachtet man nämlich diese Ringe erst unter senkrechten, dann unter schiefen Incidenzen, so sieht man vom 70sten zum 80sten Grade der Schiefe im mittlern Theile des zweiten Ringes (vom Umfange herein) einen neuen Ring entstehen. Diese Erscheinung ist nicht von dem Verschwinden eines andern Ringes begleitet, sondern es ist ein wahrer neuer Ring, der sich unter dieser großen Neigung auf der, anfangs fast ganz weißen, Mitte des zweiten Ringes bildet. Die Nobili'schen Ringe lassen sich (durch ein Verfahren, was der Verfasser nicht mitgetheilt hat) leicht so weit vergrößern, daß dieser eingeschobene Ring (intrus) eine Breite von 2 bis 3 Linien erlangt. Die Farben, aus denen er besteht, erscheinen dann sehr deutlich und entsprechen genau denen, welche man für sich auf den Platten 20., 19., 18., 17., 16. und 15. sieht; nur erblickt man statt dieser Farben einen Ring, welcher aus Grün, Roth und Gelb zusammengesetzt ist. — Auch wenn die Ringe nur so klein sind, wie man sie gewöhnlich unter der Platinspitze erhält, schiebt sich der Ring bei schiefer Betrachtung an derselben Stelle ein, und die Beobachtung ist eben so entscheidend.

Die Newton'schen Ringe geben kein Anzeichen dieser Erscheinung; sie entschwinden den Augen des Beobachters, bevor die letzten Grade der Schiefe erreicht werden, und können mithin einen Umstand nicht in die Wahrnehmung treten lassen, für den diese großen Neigungen eine wesentliche Bedingung sind. Die kleinen Dimensionen der Ringe würden kein hinreichendes Hinderniß gegen die Beobachtung der Erscheinung abgeben, insofern dieselbe bei den Nobili'schen Ringen, mögen sie klein oder groß sein, wahrgenommen werden kann.

Betrachtet man die Nobili'schen Ringe unter der angegebenen Schiefe von 70° bis 80°, nachdem man einen Theil derselben mit einer Schicht von Alkohol, Öl, Wasser ꝛc. bedeckt hat, so erscheint der eingeschobene Ring bloß da, wo die feuchte Schicht fehlt.

## Farbenscale von Field **).

Das nachfolgende Instrument, vom Erfinder Chromometer genannt, beruht auf bekannten Principien und hat unstreitig nur das Interesse der Curiosität.

Es besteht aus drei hohlen, keilartigen, mit Glaswänden versehenen, Gefäßen, die so gefaßt sind, daß man einen Lichtstral nach Belieben durch alle drei oder durch eines oder das andere derselben leiten kann. Jedes derselben enthält einen Stoff, dessen Farbe eine Hauptfarbe ist, und zwar das eine rothe Krapptinctur, das andere blaue schwefelsaure Kupferlösung, und das dritte gelbe eine chromsaure Kalklösung oder Safrantinctur. Diese

*) In Bezug auf diese Ringe verdient bemerkt zu werden, daß sie die umgekehrte Lage haben, als die Newton'schen. Letztere beginnen von der Mitte, die Nobili'schen vom Umfange herein.

**) Baumg. VIII. 472.

Flüssigkeiten haben einen solchen Farbenton, daß ein mitten durch alle drei Gefäße gehender Stral, auf weißem Papier aufgefangen, weiß erscheint. Nimmt man das Gefäß mit der rothen Flüssigkeit hinweg, so erscheint dieser Stral grün, hingegen purpurroth oder orange, wenn man das Gefäß mit der gelben oder blauen Flüssigkeit wegnimmt. Wendet man die Gefäße gegen den einfallenden Stral, so daß derselbe durch dickere Schichten der Flüssigkeit gehen muß, so erleidet die Farbe des durchgelassenen Lichtes eine Modification, und wenn man die Stellung, wo der Stral mitten durch ein solches Prisma geht, als Nullpunct der Farbenscale ansieht, so kann man leicht durch verschiedene Neigungen der Prismen Grade der sich hiebei ändernden Farben festsetzen.

### Über die Farben und prismatischen Spectra verschiedener Flammen, von Herschel *).

Die Flamme des Cyangases zeigt, bei Betrachtung durch eine schmale Öffnung, eine Purpurfarbe mit grünlich gelber Einfassung. Durch ein Prisma betrachtet giebt sie ein Spectrum, welches auf eine ganz sonderbare Weise von mehreren dunklen Zonen durchschnitten ist. Diese Zonen sind im ganzen Spectrum ziemlich gleichförmig vertheilt, und die leuchtenden Theile zwischen ihnen sind von fast gleicher Helligkeit.

Die Flamme des in den Theatern gebräuchlichen Rothfeuers (welches man durch Verbrennung von salpetersaurem Strontian hervorbringt) zeigt zwei lebhafte rothe Farben. Das Spectrum, welches man mittelst des Prisma's bekommt, enthält unzählig viele Unterbrechungen, allein das Merkwürdigste darin ist eine ungemein helle Linie von lebhaftem Blau, die durchaus von allen übrigen unterschieden ist.

Die Flamme des in Joddampf brennenden Kaliums giebt auch ein besonders merkwürdiges Spectrum.

Das Licht eines in Fäulniß übergehenden Hummers ist bläulich grün. Mit dem Prisma untersucht erhält man ein Spectrum, welches aber zu schwach ist, als daß man darin einen Farbenunterschied zwischen der Mitte und den Enden wahrnehmen könnte.

### Über die Streifen in einer flackernden Flamme, von Quetelet **).

Wie bekannt hat eine ruhig brennende Kerzenflamme die Gestalt eines Kegels, dessen leuchtende Hülle ein Continuum darstellt. Wenn die Flamme aber unruhig und flackernd brennt, was gewöhnlich geschieht, wenn der Docht etwas lang geworden ist, so wird sie im oberen Theile discontinuirlich, und dann bemerkt man daselbst horizontale zackige Linien oder abwechselnd helle und dunkle Streifen, wobei zugleich der Rand der Flamme oben

*) Pogg. XVI. 187.

**) Ebend. 186.

Oxyde bewirkt werde, die indeß doch Raum zwischen sich lassen, daß ein Theil der Lichtstralen zwischen ihnen hindurchgehe, ohne anzutreffen, während ein anderer Theil des Lichtes auf schiefe, gegen die Oberfläche des Glases gerichtete, Facetten dieser Theilchen auftrifft, so daß er innerhalb des Glases eine farbige Zurückwerfung erleidet, die ihn durch die zweite Oberfläche des Glases hindurchführt und die Färbung des durchgehenden Lichtes bewirkt.

## Farbenveränderungen durch Hitze.

Verschiedene Stoffe vermögen, unabhängig von chemischer Veränderung, durch bloße Temperaturänderungen ihre Farbe zu ändern, worüber hier einige Beispiele folgen mögen:

Das Jodblei wird durch Wärme orangeroth, beim Erkalten gelb *); das Quecksilberjodid sublimirt gelb, nimmt aber beim Erkalten seine orangenrothe Farbe wieder an **); das basisch chromsaure Bleioxyd (Chromroth), das Quecksilberoxyd und der Zinnober haben kalt eine rothe, heiß eine schwarze Farbe ***); das Zinkoxyd ist in der Kälte weiß, in der Hitze gelb †), die salpetrige Säure ist bei — 20° C. farblos, bei gewöhnlicher Temperatur grün ††).

## Farbenstreifen an Planspiegeln von Quetelet †††).

Whewell, Professor an der Universität zu Cambridge, hat zuerst bemerkt, daß man mittelst eines Planspiegels Farbenstreifen erhalten kann, wenn man ein Kerzenlicht so vor demselben anbringt, daß die reflectirten Stralen desselben nur einen kleinen Winkel mit den auffallenden machen, und in das hinter dem Lichte befindliche Auge gelangen. Doch sieht man diese Erscheinung nicht immer, und es war nothwendig, die Bedingungen zu suchen, welche dieser Erscheinung entsprechen. Dieses hat Quetelet gethan, indem er zeigte, daß man das Glas nur mit einer dünnen Dunstschicht überziehen dürfe, um genannte Erscheinungen zu erzeugen. Noch bessere Dienste leistet eine dünne Fettschicht, indem sie zugleich den Vortheil gewährt, daß das betreffende Phänomen dauernd ist, und nicht, wie im vorhergehenden Falle, mit den Dünsten wieder verschwindet. Auch ist nach den Erfahrungen dieses Gelehrten dazu nicht einmal ein belegter Glasspiegel erfoderlich; auch eine gewöhnliche Glasscheibe leistet dieselben Dienste,

*) Henry im Pharm. Centralbl. II. S. 850.

**) Berzelius Lehrb. d. Chem. II. 908.

***) Pogg. XXI. 580; Berzelius's Lehrbuch der Chemie II. 225; Buchner's Repert. XXXIII. 429.

†) Zur Ausmittelung der Ursache dieser Farbenänderung beim Zinkoxyde ist neuerdings eine Preisaufgabe von der pharmaceutischen Hagen-Bucholz'schen Stiftung ausgesetzt worden (Pharm. Centralbl. II. S. 722).

††) Pharmac. Centralbl. II. S. 651.

†††) Quetelet Corresp. V. livr. 6. VI. livr. 1. Baumg. Zeitsch. VIII. 218.

nur erscheinen die Farbenstreifen nicht so rein, woran offenbar die Ungleichheiten der Glasoberfläche Schuld sind. Ein Tropfen Terpentinöl auf die hintere Glasfläche gegeben, macht aber das Phänomen augenblicklich verschwinden. Mit undurchsichtigen Stoffen läßt sich der Versuch nicht anstellen.

Übrigens erscheinen jene Streifen zur Seite des Bildes der Kerzenflamme, und zwar in einer Richtung, die auf der durch die Flamme und das Auge auf den Spiegel senkrecht gezogenen Ebene senkrecht steht; aber sie erscheinen nicht immer geradlinig; man unterscheidet vom Bilde der Flamme aus einen bläulich grünen, einen gelben und einen rothen Streifen, u. s. f.

Je mehr man sich vom Spiegel entfernt, und je mehr sich das Auge dem Kerzenlichte nähert, oder überhaupt je kleiner der Winkel ist, den das einfallende Licht mit dem reflectirten macht, desto breiter werden die Farbenstreifen.

## Farbenerscheinungen bei Zurückwerfung des Lichtes an der Berührungsfläche von festen und flüssigen Körpern, die eine gleiche oder wenig verschiedene Brechkraft besitzen, von Brewster*).

Nachstehendes sind die Resultate der folgenden Untersuchungen:

1) Wenn Licht von der Berührungsfläche zweier Mittel von nahe gleichen Brechungskräften und ungleichen Zerstreuungskräften (wie Flintglas und Cassiaöl) zurückgeworfen wird, so hat das reflectirte Lichtbündel stets eine andere Farbe, als das einfallende. Dieser Umstand ist eigentlich nur eine theoretische Folgerung aus der Ungleichheit, mit welcher sich die brechenden Kräfte in beiden Mitteln auf die verschiedenen Farbenstralen äussern, indem dadurch gewisse Farbestralen leichter zum Durchgange disponirt werden müssen, als andere.

Es kann (da die Brechungsverhältnisse für jeden Farbenstral bei allen Einfallswinkeln gleich bleiben) ein auf solche Weise zurückgeworfener farbiger Stral vermöge Änderung des Einfallswinkels zwar wohl in seiner Intensität, aber nicht in seiner Farbe, eine Änderung erleiden, ein Umstand, welcher nicht erlaubt, die nachfolgends unter 2) bemerkten Farbeerscheinungen mit den hier namhaft gemachten von gleichem Grunde abzuleiten.

2) Wenn Licht durch zwei sich innig berührende, verschiedenartige Mittel, ein festes und flüssiges hindurchgeht, so kann es, entgegen der gewöhnlichen Annahme, eine Zurückwerfung an der gemeinschaftlichen Berührungsfläche selbst dann erfahren, wenn die Brechungskräfte beider Mittel nahe oder ganz gleich sind. Dies zurückgeworfene Licht ist in der Regel farbig. Die Farbe ändert sich bei Abänderung des Einfallswinkels nach der

*) Philos. transact. 1829. P. I. p. 187; Pogg. XVII. 29; oder Schweigg. J. LVII. 155.

Ordnung der Newton'schen Farbenringe, indem sie mit Vergrößerung des Einfallswinkels in Ringe immer niederer Ordnung (die näher nach dem Mittelpuncte liegen) hineintritt; sie zeigt endlich bei dieser Abänderung des Einfallswinkels periodische Maxima und Minima der Intensität. Alle diese Umstände zeigten sich an der Berührungsfläche des bei den nachfolgenden Versuchen mit A bezeichneten Glasprisma's mit verschiedenen Flüssigkeiten.

Bei besonderer Beschaffenheit der brechenden Mittel kann es indeß geschehen, daß Abänderung der Farben und Erscheinen der Maxima und Minima fast gar nicht merklich wird, so an der Berührungsfläche des nachgehends mit B zu bezeichnenden, Glasprisma's mit den verschiedenen Flüssigkeiten. Es scheint jedoch, daß dies bloß daher rühre, daß die Farben hier zu einer langen, sich nur langsam ändernden, Periode gehören, da man allerdings bei sehr großer Änderung der Neigungswinkel einige Änderung der Farbe auch hier beobachtete.

Nimmt man, wofür in der That viele Gründe sprechen, an, daß die Kräfte, vermöge deren die Lichttheilchen zurückgeworfen und gebrochen werden, in gegenseitiger Abhängigkeit von einander stehen, so daß ihre Änderungen stets gleichzeitig und nach einem gleichen Gesetze erfolgen, so scheinen die in Rede stehenden Erscheinungen sich nur durch die Annahme erklären zu lassen, daß das Gesetz dieser Kräfte in starren und flüssigen Körpern ein verschiedenes sei, so daß, wenn auch der Gesammteffect der Reflexionskraft in starren und flüssigen Körpern zum Gleichgewicht gebracht ist und eben so der Gesammteffect der Refractionskraft, doch wegen ungleicher Abnahme dieser Kräfte auf gleiche Entfernung, noch eine verschiedenartige Wirkung beider Mittel auf das Licht wird Statt finden können *). Die periodische Veränderung der Intensität der Farbenerscheinungen ist unstreitig aus der Interferenz zweier Portionen Licht zu erklären, wiewohl noch nicht ganz klar ist, wie diese interferirenden Lichtbündel erzeugt werden.

3) Veränderungen in der Beschaffenheit der Oberfläche des festen brechenden Mittels bringen Modificationen in die unter 2) bemerkten Erscheinungen, ohne daß sich bis jetzt über die Art dieses Einflusses etwas theoretisch voraussagen läßt.

Zu 1). Brewster beobachtete, daß von einer Schicht Cassiadl, welche zwischen zwei Flintglasprismen eingeschlossen war, eine blaue Farbe zurückgeworfen ward. Dies wird dadurch erklärlich, daß die Brechkraft des Cassiadls die des Flintglases für die mittleren Stralen beträchtlich übertrifft, während die Wirkung beider Körper auf die weniger brechbaren Stralen einander beinahe gleich ist. Es mußte daher ein großer Theil der rothen Stralen durchgehen, dagegen aber von den orangefarbe-

*) Im Undulationssysteme können die in Rede stehenden Erscheinungen durch die Annahme erklärt werden, daß die Dichtigkeit oder Elasticität des Äthers nahe an der Oberfläche der verschiedenen Körper verschieden sei.

nen ein kleiner Theil, von den gelben ein größerer, von den grünen ein noch größerer und von den blauen ein sehr großer Theil reflectirt werden, so daß der durch Reflexion gebildete Lichtbündel nothwendig hauptsächlich nur eine blaue Farbe besitzen mußte.

Bei Anwendung verschiedener Glassorten und verschiedener Öle erhielt Brewster mehrere ähnliche Resultate, wobei verschiedene andere Färbungen beobachtet wurden.

Zu 2). Brewster wandte zwei Prismen von Tafelglas, A und B, das erste in der Glashütte, das zweite von Dollond verfertigt, an, die beide ein gleichschenklich rechtwinkliches Dreieck zum Querschnitt hatten und auf der Basis polirt waren. Die Brechungsverhältnisse m waren:

| | m |
|---|---|
| In A . . | 1,508 |
| In B . . | 1,510 |

Sie zeigten, wie aus den nachstehenden Versuchen erhellt, ein verschiedenes Verhalten gegen das Licht.

Die angewandten Flüssigkeiten waren Ricinusöl und Copaivabalsam, von denen der letztere eine größere, das erstere eine geringere Brechkraft als die Glasprismen besitzt. Die Brechungsverhältnisse sind nämlich:

| | m |
|---|---|
| Im Ricinusöl . . | 1,490 |
| Im Copaivabalsam | 1,528 |

Die Prismen A, B wurden nun an einander befestigt, wie in Fig. 18., und ein Schichtchen CD von Ricinusöl zwischen dieselben gebracht. Ein Lichtstral Rr wird, nach der Refraction in r, von der Fläche CoD, welche das Prisma A vom Öle trennt, in der Richtung oqm reflectirt; ein anderer Theil desselben aber von der Fläche GpH, welche das Öl vom Prisma B scheidet, in der Richtung psn. Damit die beiden Stralen qm, sn hinreichend aus einander weichen, sind die gemeinschaftlichen Durchschnitte der Flächen, die den rechten Winkel enthalten, etwas gegen einander geneigt.

Wenn der Einfallswinkel RrE sehr groß ist, so erleidet das Licht eine totale Reflexion an der Fläche CoD. Innerhalb der Gränze der totalen Reflexion ist das Licht oqm gelb; und wenn man den Einfallswinkel stufenweise vermindert, so geht das Lichtbündel oqm durch alle Nuancen von fast drei Farbenordnungen, wie es die folgende Tabelle zeigt.

| | | Einfalls-winkel RrE | Einfallswin-kel an der Fläche CoD *) |
|---|---|---|---|
| Erste Ordnung. | Gelb | 70° | 83° 33′ |
| | Orange | 63 | 81 13 |
| | Roth | 61 | 80 27 |
| | Nelkenfarben (pink) | 59½ | 79 51 |
| | Gränze von Nelkenfarben und Blau | 59 | 79 14 |
| Zweite Ordnung. | Bläuliche Nelkenfarbe | 57 | 78 46 |
| | Volles Blau | 55 | 77 54 |
| | Grünliches Blau | 52 | 76 30 |
| | Gelbliches Blau | 48 | 74 32 |
| | Gelb | 41 | 70 46 |
| | Röthliches Gelb | 34 | 66 46 |
| | Noch röther | 26 | 61 54 |
| | Roth | 21 | 59 4 |
| | Nelkenfarbe | 17 | 56 11 |
| | Gränze von Nelkenfarbe und Blau | 14 | 54 14 |
| Dritte Ordnung. | Blau | + 9 | 50 57 |
| | Bläulich Grün | 0 | 45 0 |
| | Gelblich | − 15 | 35 46 |
| | Volles Gelb | − 22 | 30 37 |
| | Röthliches Gelb | − 31 | 25 21 |
| | Nelkenfarbe | − 52 | 13 30 |

Die Farbe des von der andern Trennungsfläche GpH erzeugten Lichtbündels psn ist fast bei allen Einfallswinkeln ein schwaches gelbliches Grau, wie man dies am besten sieht, wenn man die obere Seite des Prismensystemes hinunterdreht und den Stral Rr mit dem Prisma B auffängt, so daß der reflectirte Stral psn nicht durch das Öl geht. Seine Intensität nimmt bei zunehmendem Einfallswinkel immer mehr ab, doch nur sehr langsam. Bei sehr großer Incidenz bemerkte indeß doch Brewster einen bestimmten Übergang der Farbe aus Grau in Blau, welches angegebenermaßen die Vermuthung rege macht, daß diese Farben einer langen Periode zugehören, die sich mit zunehmender Incidenz langsam dem Minimum ihrer Intensität nähert.

Wenn das untere Prisma von demselben Glase wie A verfertigt ist, und die in obiger Tafel angeführten Farben bei anderen Einfallswinkeln

*) Diese Columne ist nach der Formel $A = 45 \pm \text{Arc.}\left(\frac{\sin I}{m}\right)$ berechnet, wo I die Einfallswinkel der ersten Columne, A die in der zweiten bezeichnet, und m = 1,508 das Brechungsverhältniß des Glases ist.

als A hervorbringt, so ist das Farbenspiel besonders artig und die ganze Erscheinung eine der schönsten der physikalischen Optik.

Wenn das einfallende Licht homogen ist, so finden keine Farbenänderungen Statt; allein die reflectirten Lichtbündel haben (bei dem Prisma A) ihre Maxima und Minima von Intensität, wie, bei homogenem Lichte, die Farbenringe dünner Platten oder die Fransen des gebeugten Lichtes.

Folgendes sind die Perioden für das rothe und das blaue Licht.

| | Rothes Licht. | Blaues Licht. |
|---|---|---|
| Erstes Minimum | 77° 54′ | 80° 27′ |
| Zweites Minimum | 50° 57′ | 59° 4′ |

Nimmt man statt des dreiseitigen Prisma's A ein vierseitiges, so erscheinen die Farben dichter zusammengedrängt; und wenn der leuchtende Gegenstand ein langer Streifen hellen Lichtes ist, so sieht man die meisten Farben auf einmal.

Wenn man nun das Öl erwärmt und dadurch seine Brechkraft schwächt, so wird die Helligkeit der Farben bedeutend vermindert, und die erste Periode bei einem geringern Einfallswinkel geschlossen.

Von dieser Art sind die Erscheinungen, wenn die Brechkraft des Glases die der Flüssigkeit übertrifft. Wir werden nun sehen, was geschieht, wenn die Flüssigkeit eine größere Brechkraft als das Glas besitzt; ein Fall von besonderem Interesse, weil wir im Stande sind die beiden Brechkräfte für jeden gegebenen Stral des Spectrums durch Temperaturänderung der Flüssigkeiten zu völliger Gleichheit zu bringen.

Bei Anwendung derselben Prismen, wie vorhin, bestehe nun die Schicht CDHG aus Copaivabalsam. Bevor die totale Reflexion eintritt, ist der reflectirte Lichtbündel vollkommen weiß; dann wird er gelb und durchläuft dieselben Farbenreihen, wie der vom Ricinusöl. Alle diese Farben entstehen jedoch bei kleineren Einfallswinkeln, und die erste Ordnung schließt bei einem Winkel von 64° 58′, wie aus folgender Tafel erhellt, in welcher nur die Hauptfarben angegeben sind.

| | | Einfalls-winkel BrE | Einfallswinkel an der Fläche CoD |
|---|---|---|---|
| Erste Ordnung. | Gelblich . . . . . . . . | 47° | 74° 10′ |
| | Gelb . . . . . . . . . . | 41 | 70 47 |
| | Nelkenroth . . . . . . . . | 36 | 67 57 |
| | Nelkenfarben . . . . . . | 33 | 66 10 |
| | Gränze zwischen Nelkenf. u. Blau | 31 | 64 58 |
| Zweite Ordnung. | Bläuliche Nelkenfarbe . . . | 28 | 63 8 |
| | Volles Blau . . . . . . . . | 26 | 61 54 |
| | Bläuliches Grün . . . . . . | 22 | 59 23 |
| | Bläuliches Gelb . . . . . | 18 | 56 50 |
| | Gelb . . . . . . . . . . . | 10 | 51 37 |
| | Röthliches Gelb . . . . . . | 1 | 45 40 |
| | Roth . . . . . . . . . . . | — 8 | 39 42 |
| | Nelkenroth . . . . . . . . | — 13 | 36 25 |
| | Gränze zwischen Nelkenf. u. Blau | — 16 | 34 28 |
| Dritte Ordnung. | Blau . . . . . . . . . . . | — 22 | 30 37 |
| | Bläuliches Grün . . . . . | — 26 | 28 56 |
| | Grün . . . . . . . . . . . | — 30 | 25 29 |
| | Gelbliches Grün . . . . . . | — 41 | 19 13 |

Bei einer spätern Untersuchung fand Brewster, daß bei Anwendung von Copaivabalsam oder anderen Flüssigkeiten, wo die erste Ordnung bei und unter 65° endigt, noch ein anderes Minimum zwischen diesem Winkel und 90° vorhanden ist, was jedoch durch die Intensität des reflectirten Lichtes leicht unwahrnehmbar wird. Brewster erkannte diesen Umstand sowohl bei sorgfältiger Wiederholung des Versuches mit Glaswürfeln, als auch mit einem andern Prisma (als A), bei welchem nur ein Minimum bei etwa 85° von nelkenrother Farbe, welche bei kleineren Einfallswinkeln in eine blaue, ins Grünlichgraue fallende, Schattirung übergiengen, vorhanden war. Eine kleine Temperaturverringerung des Balsams brachte dieses Minimum bis gegen 90°, eine Temperaturerhöhung aber auf geringere Incidenzen als 85°.

Nachdem Brewster ausgemittelt hatte, daß bei einer Temperatur von 94° F. (27°,6 R.) das mittlere Brechungsverhältniß des Copaivabalsams beinahe dem des Glasprisma gleich war, schritt er zu der Untersuchung, welchen Einfluß eine Temperaturveränderung von 50° (8° R.) bis über 94° F. (27°,6 R.) auf die Intensität und Farbe des reflectirten Lichtbündels ausüben werde.

Die Prismen wurden daher in der Lage befestigt, daß sie das volle Blau der zweiten Ordnung zeigten, und alsdann allmälig erwärmt. Die Farbe wurde durch die Erwärmung sichtlich verschönert, obgleich die In-

tensität des Lichtes abnahm. In dem Augenblicke, als die Brechungsdichte des Glases und des Balsams gleich waren, wurde keine besondere Veränderung bemerkt. Über 94° F. hinaus wuchs die Intensität der Farben, in Folge der abnehmenden Brechkraft des Balsams; als aber die Temperatur beträchtlich verstärkt wurde, verschwanden die Farben gänzlich.

Wir gehen nun zu einer merkwürdigen Erscheinung über, die sich in den relativen Intensitäten der Lichtbündel oqm und psn zeigt. Bei einem Einfallswinkel von 61° 54′ an der Fläche CoD, und bei einer Temperatur von etwa 50° F., zeigt der Lichtbündel oqm ein volles Blau, psn dagegen ein graulisches Weiß von geringerer Intensität als das Blau. Bei Vergrößerung des Einfallswinkels nimmt die Intensität des Bündels oqm rasch zu, während die des grauen Strales langsam abnimmt, so daß, bei einer Incidenz von 74°, oqm zehn bis zwölf Mal leuchtender ist als psn. Bei kleineren Incidenzen als 61° 54′ ist aber die Lichtstärke des Strales psn größer als die von oqm.

Bei Erwärmung wird psn gelblichweiß und sehr intensiv. Bei schiefen Incidenzen nähert er sich nun der Helligkeit von opm, bleibt aber darin noch hinter diesem Strale zurück, während er bei kleinen Incidenzen denselben an Intensität übertrifft.

In den vorhergehenden Versuchen hatte der starre Körper beinahe dieselbe Brechungsdichte als der Balsam. Wir werden nun ein Solidum nehmen, nämlich Obsidian, welches fast dieselbe Brechkraft wie das Öl besitzt.

Wenn das untere Prisma B aus Obsidian, und die Schicht CDHG aus Copaivabalsam besteht, so durchläuft der Stral psn drei Farbenordnungen; nämlich:

| | |
|---|---|
| Erste Ordnung | Weiß<br>Gelb<br>Roth<br>Gränze von Roth und Blau bei 73° |
| Zweite Ordnung. | Blau<br>Bläuliches Grün<br>Gelbliches Weiß<br>Röthliches Weiß<br>Schöne Nelkenfarbe |
| Dritte Ordnung. | Bläulich<br>Bläulichweiß. |

Die Farben sind keineswegs gut, noch werden sie bei Erwärmung, wobei die Brechkraft der Flüssigkeit sich der des starren Körpers nähert, verschönert. Die Wärme reducirt die Ordnungen auf zwei, und jede Farbe wird nun bei einem viel kleinern Winkel entwickelt. Die erste Ordnung z. B., die bei einer Incidenz von 73° schloß, schließt nun bei einer Incidenz von 52°. Wenn die Hitze so groß ist, daß man die Prismen nicht mehr mit der Hand berühren kann, so sind alle Farben verschwunden.

Wenn wir nun statt des Balsams Nicinusöl nehmen, so sind keine Farben sichtbar; allein der reflectirte Lichtbündel p s n ist weiß und hell, ungeachtet die Brechkräfte des starren und des flüssigen Körpers zusammenfallen. Wärme erhöht die Intensität des Lichtbündels, erzeugt aber keine Farben.

Bisher haben wir nur die Wirkungen der beiden Flächen der Schicht betrachtet, wie sie sich, vermöge der prismatischen Gestalt der Flüssigkeit, seitwärts in zwei getrennten Bildern zeigt. Wir werden nun kürzlich die Erscheinungen erwähnen, welche sich zeigen, wenn, vermöge des Parallelismus der Flächen der Schicht die beiden Bilder sich über einander lagern.

Wenn die beiden Prismen A und B einzeln und bei verschiedenen Einfallswinkeln gleiche Farbenperioden geben, dann sind die entstehenden Farben sehr unregelmäßig und undeutlich. Wenn aber die Maxima der von dem einen Prisma hervorgebrachten Perioden zusammenfallen mit den Minimis der von dem andern erzeugten Perioden, so werden die Farben fast ganz zerstört, obgleich es nicht leicht ist, sich der Bedingung zu versichern, von der diese Compensation abhängt. Wenn die Prismen einzeln genau dieselben Perioden bei denselben Einfallswinkeln geben, dann entsprechen die Minima des einen den Minimis des andern, und die Maxima den Maximis, so daß die vereinigten Prismen dieselben Farbenperioden hervorbringen, wie die Prismen einzeln; allein die Intensität der Farben ist verdoppelt. Diese Verdoppelung der Intensität ist leicht zu beobachten, wenn man ein Prisma, welches deutliche Farben hervorbringt, durchschneidet und die beiden Hälften durch eine flüssige Schicht von einander trennt.

Noch fügen wir die Erwähnung folgender Versuche hinzu, ebenfalls mit den früheren Tafelglasprismen A und B, und mit Cuminöl und destillirtem Holzöl angestellt. Die Brechungsverhältnisse dieser Substanzen für die mittleren gelben Stralen bei 50° F. waren folgende:

| | m |
|---|---|
| Cuminöl | 1,512 |
| Tafelglas, Prisma B | 1,510 |
| Cuminöl und Holzöl gemischt | 1,5085 |
| Tafelglas, Prisma A | 1,508 |
| Holzöl | 1,506 |

Brewster combinirte die Öle hinter einander mit den beiden Prismen, wie es Figur 18. zeigt. In allen diesen Combinationen brachte, bei weißem Lichte, die Fläche zwischen dem Prisma A und den Ölen, fast drei Farbenordnungen von derselben Intensität und fast bei denselben Einfallswinkeln hervor, wie beim Copaivabalsam; dagegen reflectirte die Trennungsfläche zwischen dem Prisma B und den Ölen nur ein blaßgraues Bild von sehr geringer Intensität, die allgemein in dem Maße abnahm, als der Einfallswinkel wuchs.

Wenn das homogene gelbe Licht einer monochromatischen Lampe angewandt wurde, brachte die Trennungsfläche zwischen dem Prisma A und

allen Ölen das erste Minimum fast bei demselben Einfallswinkel hervor; und obgleich Brewster das schwächst brechende Öl allmälig erwärmte und das stärkst brechende erkältete, um eine völlige Compensation der entgegengesetzten Refractionen für die gelben Stralen zu bewirken, so kam doch weder in dem Orte des ersten Minimums, noch in der Intensität des reflectirten Lichtes eine wahrnehmbare Veränderung zum Vorschein. Bei Anwendung des gemischten Öls wurde die Compensation, ohne irgend eine Temperaturveränderung, durch eine bloße Änderung in der Aufstellung des Apparates hervorgebracht.

Brewster fügt noch eine sehr ausgedehnte Tabelle über die Farbenerscheinungen bei, welche viele andere Öle und Balsame zwischen beiden Prismen erzeugten, die wir jedoch, da sie das Phänomen von keiner neuen Seite kennen lehren, übergehen.

Zu 3). Da Brewster beobachtet hatte, daß die Farben zuweilen minder lebhaft wurden, wenn die Media einige Zeit in Berührung gewesen waren, und daß verschiedene Theile einer und derselben Fläche dieselbe Farbe bei merklich verschiedenen Neigungen hervorbrachten, so suchte Brewster den hiedurch angedeuteten Einfluß einer Veränderung oder Verschiedenartigkeit der Beschaffenheit der Oberfläche auf die Erscheinung durch Versuche weiter zu verfolgen. Er nahm ein Prisma, welches mit Ricinusöl drei schöne Perioden gab, und nachdem er es bis zur Weißgluth erhitzt hatte, schliff und polirte er seine Flächen wieder. Es gab nun nicht mehr dieselben Perioden wie zuvor, zerlegte aber noch das weiße Licht, welches von seiner Gränze mit Copaivabalsam reflectirt wurde, und warf einen starken Stral von blauer Farbe zurück, selbst wenn die entgegengesetzten Refractionen vollkommen compensirt waren. Er schliff und polirte nun eine der Flächen des erwähnten Obsidians. Auch er gab nun nicht mehr mit Copaivabalsam die früher beschriebenen Farben; allein er lieferte jetzt, in Verbindung mit Ricinusöl, mit dem er zuvor keine Farben gab, einen schönen gelben Lichtbündel, und das reflectirte Licht war bei großen Incidenzen weiß, und wurde gelber, so wie sich der Stral dem Perpendikel näherte. Um auszumitteln, welche Veränderungen durch den Proceß des Schleifens und Polirens entstehen möchten, suchte Brewster eine alte Bruchfläche an einem Stück Tafelglas aus, dessen glatte Flächen schöne periodische Farben gaben, und bildete daran eine neue Bruchfläche. Die alte Fläche, die seit 10 Jahren bloß gelegen hatte, gab die gewöhnlichen Farbenordnungen; allein die neue Fläche gab nur eine, nämlich eine hellblaue, Farbe, welche er aber, wegen der Natur der Fläche, nicht bei großen oder kleinen Incidenzen untersuchen konnte.

Da diese Resultate anzudeuten schienen, daß das Glas durch das Liegen an der Luft entweder eine Art von Incrustation erhalten, oder bis zu einer gewissen Tiefe irgend eine sehr fein zertheilte Substanz absorbirt, oder in seiner mechanischen Constitution irgend eine Veränderung erlitten hatte, so machte Brewster mehrere, obwohl fruchtlose, Versuche, die Natur

dieser Veränderung zu ermitteln. Weder mit dem Mikroskop, noch durch sonst ein Mittel, ließ sich irgend ein Überzug auf der Oberfläche wahrnehmen. Er kochte die Prismen mit Salzsäure und mit starken alkalischen Laugen, tauchte sie in Alkohol und rieb ihre Flächen stark, allein ihre Wirkung auf das Licht wurde nicht im Geringsten dadurch verändert.

Hätte sich auf der Oberfläche des Glases ein Häutchen von solcher Dicke gebildet, daß es die periodischen Flächen gegeben haben könnte, so müßte dessen Brechkraft verschieden von der des Glases gewesen sein. Er nahm daher ein Prisma, welches periodische Farben gab, und ein anderes von demselben Glase, welches diese Eigenschaft nicht besaß, und fand, daß sie das Licht bei genau denselben Winkeln polarisirten. Er setzte sie dann, mit einer Zwischenlage von Cassiaöl, auf die Basis eines Flintglasprismas, und fand, daß der Winkel, bei dem sie das Licht total reflectirten, derselbe war *). Hieraus erhellte, daß das vermuthete Häutchen in seiner Brechkraft nicht vom Glase verschieden war, und, wenn es wäre, daß einige der Öle, mit denen es bei den vorhergehenden Versuchen im Contacte stand, eine gleiche Brechkraft gehabt, und sein Vermögen, periodische Farben zu entwickeln, zerstört haben mußten. In der Hoffnung, dies Geheimniß zu enthüllen, nahm er zwei Prismen, geschnitten aus einer und derselben Glasplatte, die mit Ricinusöl schöne periodische Farben gab. Vermittelst Schrauben brachte er die Basen der Prismen in einen optischen Contact. Bei großen Incidenzen war das Licht gelb, und bei verminderter Inclination wurde der Stral allmälig orangefarben und beim Verschwinden tief roth; bei kleineren Einfallswinkeln war kein Licht sichtbar. Bei diesem Versuche waren die Flächen der beiden fraglichen Häutchen in optischen Contact gebracht, so daß man hätte Farbeordnungen haben müssen, die einem Häutchen von doppelter Dichte entsprachen.

Doch selbst die Voraussetzung eines solchen unsichtbaren Häutchens an dem Glase liefert keine Erklärung von den glänzenden Farben, welche sich zeigen, wenn das Solidum ein krystallisirtes Mineral ist, bei dem die Farben in Beziehung zur Axe der doppelten Stralenbrechung stehen, wovon Brewster in einer spätern Abhandlung zu sprechen beabsichtigt.

## Neue Farbenerscheinungen auf gestreiften Flächen metallischer und durchsichtiger Körper, von Brewster **).

Zieht man auf einer ebenen polirten Metallfläche einander sehr nahe, doch gleich weit von einander abstehende, feine Ritzen, oder Furchen, und läßt directes Kerzenlicht darauf fallen, so sieht man im reflectirten Lichte, wenn die Reflexionsebene jenen Linien parallel ist, das farblose Bild

*) Das Prisma, welches die periodischen Farben hervorbrachte, gab keine so bestimmte Gränze zwischen der partiellen und totalen Reflexion, als das andere.

**) Philos. transact. 1829. II. p. 301; oder Brewster's Edinb. J. of sc. 1830. Janv.; oder Froriep's Not. Nr. 10. des XXVII. Bandes; oder Baumg. Zeitschr. VIII. 202.

(Hauptbild) der Kerze in der Mitte mehrerer rechts und links davon in gewissen Abständen sich folgender, Nebenbilder von prismatischen Farben. Das Hauptbild entsteht durch die zwischen den Furchen befindliche übrig gebliebene Metallfläche (deren Breite zwischen je zwei Furchen wir n nennen wollen), die Nebenbilder hingegen durch die Seiten der Furchen (die Breite jeder Furche heiße m); denn vergrößert man m und vermindert dadurch n, so verschwindet bei einer gewissen Gränze dieser Größe das Hauptbild völlig, nachdem es immer schwächer geworden ist; die Nebenbilder hingegen erreichen das Maximum ihrer Intensität. Der entgegengesetzte Erfolg tritt ein, wenn man n vergrößert und m verkleinert. Die Abstände der Nebenbilder vom Hauptbilde und ihre Farbenerscheinungen hängen ganz von der Größe $m + n$, d. h. von der Summe der Furchen und der sie trennenden Intervalle ab.

Die allgemeinen Gesetze dieser Erscheinung sind schon von Fraunhofer *) mit aller Schärfe festgestellt worden; bei einer nähern Untersuchung der Nebenbilder bemerkte indeß Brewster gewisse Eigenthümlichkeiten, die Fraunhofern entgangen sind, jedoch nicht an allen Plättchen beobachtet wurden. Diese Eigenthümlichkeiten bestanden darin, daß die Nebenbilder in ihrer Länge Maxima und Minima der Intensität, deren Lage an gewisse Einfallswinkel geknüpft war, zeigten, und daß, wo dies Phänomen am auffallendsten hervortrat, zugleich auch das Hauptbild eine schwache, mit dem Einfallswinkel veränderliche und ebenfalls Maxima und Minima darbietende, Färbung zeigte. Oft zeigte sich dies Phänomen bei nahe liegenden, andere Male bei mehr entfernten Furchen, und nur die Symmetrie, mit der es erschien, ließ vermuthen, daß es nicht vom Zufalle abhänge.

Da diese Eigenthümlichkeiten bis jetzt noch nicht mit Bestimmtheit auf ein theoretisches Princip zurückgeführt sind **) und bei verschiedenen Plättchen verschiedene Modificationen der Erscheinungen Statt fanden, die sich noch unter keinen allgemeinen Gesichtspunct fassen lassen, so sind wir genöthigt, um einen Begriff davon zu geben, gleich von Vorn herein in das nähere Detail der Erscheinungen selbst einzugehen. Wir wollen hiebei zuerst diejenigen anführen, die Brewster in homogenem Lichte beobachtete, da diese die einfacheren sind, auf welche die anderen mehr oder weniger zurückführbar erscheinen.

Das Licht wurde bei den nachfolgenden Versuchen durch eine schmale rechtwinkliche Öffnung auf das zu betrachtende Plättchen geleitet, so daß man einen um 30° bis 40° divergirenden Lichtbüschel erhielt. Als nun der Verfasser ein (von Barton verfertigtes) Stahlplättchen anwandte, in welchem 2000 Furchen auf den Zoll so eingegraben waren, daß die ursprüngliche Oberfläche fast gänzlich entfernt war, hatte die Erscheinung

*) Münchner Denkschr. VIII. Schumacher's astron. Abh. H. II. S. 46.
**) Einiges über die Erklärung s. zum Schluß dieses Artikels.

bei auffallendem homogenen **rothen** Lichte, die in Figur 19. vorgestellte Gestalt, wo **AB** das Hauptbild der rechtwinklichen Öffnung darstellt, wie es durch Reflexion des Lichtes an der zurückgebliebenen Stahlfläche des Plättchens entsteht, während die vier Bilder zu beiden Seiten desselben den (hier natürlich nur einfarbig rothen) Nebenbildern entsprechen. Die Mitten der schattirten Rechtecke (die eigentlich in Abstufungen schattirt sein sollten) zeigen die Stellen an, wohin die Minima der Farben fallen, welche jedoch nicht für ganz dunkel zu nehmen sind.

Im Falle statt rothen Lichtes violettes homogenes Licht auffiel, fand die Erscheinung auf analoge Weise statt, nur rückte die Lage der Minima weiter vom Auge ab, d. h. sie wurden unter größeren Einfallswinkeln gesehen, als beim rothen Lichte, wie näher aus der in der Anmerkung beigefügten Angabe der Einfallswinkel erhellt, unter welchen die verschiedenen Minima respectiv bei rothem und violetten Lichte erblickt wurden *).

Wie leicht zu erachten also, wenn rothes und violettes Licht zugleich auf die Platte fällt, wird zwischen der Lage ihrer respectiven Minima ein gewisses Intervall bleiben, und da diese beiden Farben die Gränzen der prismatischen Farben ausmachen, so werden die Minima der übrigen Farbenstralen des Spectrums in dieses Intervall fallen. Fällt mithin weißes Licht, welches alle Farbestralen zugleich enthält, auf, so wird eine continuirliche Reihe von Minimis entstehen, deren Gränzen durch die Minima des Roth und Violett bestimmt werden.

In der That verhält sich dies so. Die Erscheinung nimmt in weißem Lichte die Gestalt an, die durch Figur 20. erläutert wird.

**AB** stellt wiederum das Hauptbild der viereckigen Öffnung vor, **ab**, **a′b′** rc. die prismatischen Nebenbilder, welche symmetrisch zu beiden Seiten von jenem entstehen. Ihre violette Seite ist nach innen (nach dem Hauptbilde zu), ihre rothe nach außen gekehrt. Das Bild **ab** ist im violetten Theile bei **m** (bei einem Einfallswinkel von 74°), im rothen Theile bei **n** (bei 66°) durch ein Minimum unterbrochen, und die Unterbrechungsstellen der übrigen Farben fallen in die gerade Linie **mn** (bei Einfallswinkeln, die

*)

| | | | Einfallswinkel | |
|---|---|---|---|---|
| | | | bei rothem Lichte | bei violettem Lichte |
| Erstes Minimum | im Hauptbilde | p | 76° | 81″ 30′ |
| | im ersten Nebenbilde | n | 66° | 74° |
| | im zweiten Nebenbilde | n′ | 55° 45′ | 66° 20′ |
| | im dritten Nebenbilde | n″ | 41° 35′ | 57° |
| | im vierten Nebenbilde | n‴ | 23° 30′ | 48° |
| Zweites Minimum | im Hauptbilde | r | 55° 45′ | 66° 20′ |
| | im ersten Nebenbilde | v | 41° 35′ | 57° |
| | im zweiten Nebenbilde | v′ | 23° 30′ | 48° |
| Drittes Minimum | im Hauptbilde | t | 23° 30′ | 48° |

Die Buchstaben sind auf die in Figur 19. dadurch bezeichneten Stellen zu beziehen.

zwischen 74° und 66° liegen). Ähnliche Unterbrechungen erfolgen nach demselben Principe an den Stellen der übrigen Farbenbilder, welche durch die schwarzen schiefen Linien bezeichnet sind.

Noch deutlicher wird das Phänomen aus Figur 21. erhellen, die einen Theil eines prismatischen Bildes darstellt. rr ist der rothe, gg der grüne, bb der blaue und vv der violette Theil desselben und der diagonale Streif mn ist der Ort der Minima, der bei m im violetten Theile anfängt und bei n im rothen endigt.

Nicht bloß die Nebenbilder, sondern auch das Hauptbild selbst, fand Brewster bei dem einfallenden weißen Lichte gefärbt, und zwar zeigte es sich bei der erwähnten Platte senkrecht auf die Länge der Furchen von vier breiten Farbenstreifen oder Farbenordnungen, welche mit denen der zurückgeworfenen Farben dünner Platten übereinstimmten, durchkreuzt, welche unter den in der Anmerkung angegebenen Einfallswinkeln erschienen *), so daß die höheren Ordnungen dem Auge näher lagen.

Daß jedoch vier Farbeordnungen erscheinen, ist nichts Constantes. Bei anderen Stahlplatten, die mit einer größern oder geringern Anzahl Furchen (500—10000) auf den Zoll versehen waren, zeigten sich nur die drei ersten Ordnungen von Farben (der Newtonschen Ringe), bei anderen nur die zwei ersten, bei noch anderen nur die erste oder gar nur eine oder zwei Farben der ersten Ordnung (innerhalb der Gränzen der Einfallswinkel von 0° bis 90°), wie aus der Tabelle in der Anmerkung erhellt **).

*) Erste Farbenordnung, von 90° bis 80°. Weiß, Strohgelb, Schwachroth, Blaßroth.
Zweite Farbenordnung, von 80° bis 69° 40′. Blau, Grün, Gelb, Roth, Blaßroth.
Dritte Farbenordnung, von 69° 40′ bis 48°. Blau, Grün, Gelblichgrün, Gelb, Orange, Scharlachroth.
Vierte Farbenordnung, von 48° bis 10°. Blau, Hellgrün, Gelblichgrün, Gelb, Röthlich.

**)

| Zahl der Streifen auf 1 Zoll. | Farbe bei dem Einfallswinkel von 90° — 0°. |
|---|---|
| 500 | Citronengelb der ersten Ordnung. |
| 625 | Eine vollkommene Farbenordnung, und noch dazu Röthlichgelb der zweiten Ordnung. Alle sehr schwach. |
| 1000 | Vier vollständige Farbenordnungen. |
| 1000 | Eine vollständige Farbenordnung nebst Blau, Grün und Gelblichgrün der zweiten Ordnung. |
| 1250 | Eine vollständige Farbenordnung mit Blau und Bläulichgrün der zweiten Ordnung. Die Farben sehr schwach. |
| 2000 | Eine vollständige Farbenordnung nebst Blau, Grün und Grünlichgelb der zweiten Ordnung. |
| 2000 in Wachs | Eine vollständige Farbenordnung und Grünlichgelb der zweiten Ordnung. |

bei auffallendem homogenen rothen Lichte, die in Figur 19. vorgestellte Gestalt, wo AB das Hauptbild der rechtwinklichen Öffnung darstellt, wie es durch Reflexion des Lichtes an der zurückgebliebenen Stahlfläche des Plättchens entsteht, während die vier Bilder zu beiden Seiten desselben den (hier natürlich nur einfarbig rothen) Nebenbildern entsprechen. Die Mitten der schattirten Rechtecke (die eigentlich in Abstufungen schattirt sein sollten) zeigen die Stellen an, wohin die Minima der Farben fallen, welche jedoch nicht für ganz dunkel zu nehmen sind.

Im Falle statt rothen Lichtes violettes homogenes Licht auffiel, fand die Erscheinung auf analoge Weise statt, nur rückte die Lage der Minima weiter vom Auge ab, d. h. sie wurden unter größeren Einfallswinkeln gesehen, als beim rothen Lichte, wie näher aus der in der Anmerkung beigefügten Angabe der Einfallswinkel erhellt, unter welchen die verschiedenen Minima respectiv bei rothem und violetten Lichte erblickt wurden *).

Wie leicht zu erachten also, wenn rothes und violettes Licht zugleich auf die Platte fällt, wird zwischen der Lage ihrer respectiven Minima ein gewisses Intervall bleiben, und da diese beiden Farben die Gränzen der prismatischen Farben ausmachen, so werden die Minima der übrigen Farbenstralen des Spectrums in dieses Intervall fallen. Fällt mithin weißes Licht, welches alle Farbestralen zugleich enthält, auf, so wird eine continuirliche Reihe von Minimis entstehen, deren Gränzen durch die Minima des Roth und Violett bestimmt werden.

In der That verhält sich dies so. Die Erscheinung nimmt in weißem Lichte die Gestalt an, die durch Figur 20. erläutert wird.

AB stellt wiederum das Hauptbild der viereckigen Öffnung vor, ab, a′b′ 2c. die prismatischen Nebenbilder, welche symmetrisch zu beiden Seiten von jenem entstehen. Ihre violette Seite ist nach innen (nach dem Hauptbilde zu), ihre rothe nach außen gekehrt. Das Bild ab ist im violetten Theile bei m (bei einem Einfallswinkel von 74°), im rothen Theile bei n (bei 66°) durch ein Minimum unterbrochen, und die Unterbrechungsstellen der übrigen Farben fallen in die gerade Linie mn (bei Einfallswinkeln, die

*)

| | | | Einfallswinkel bei rothem Lichte | Einfallswinkel bei violettem Lichte |
|---|---|---|---|---|
| Erstes Minimum | im Hauptbilde | p | 76° | 81″ 30′ |
| | im ersten Nebenbilde | n | 66° | 74° |
| | im zweiten Nebenbilde | n′ | 55° 45′ | 66° 20′ |
| | im dritten Nebenbilde | n″ | 41° 35′ | 57° |
| | im vierten Nebenbilde | n‴ | 23° 30′ | 48° |
| Zweites Minimum | im Hauptbilde | r | 55° 45′ | 66° 20′ |
| | im ersten Nebenbilde | v | 41° 35′ | 57° |
| | im zweiten Nebenbilde | v′ | 23° 30′ | 48° |
| Drittes Minimum | im Hauptbilde | t | 23° 30′ | 48° |

Die Buchstaben sind auf die in Figur 19. dadurch bezeichneten Stellen zu beziehen.

zwischen 74° und 66° liegen). Ähnliche Unterbrechungen erfolgen nach demselben Principe an den Stellen der übrigen Farbenbilder, welche durch die schwarzen schiefen Linien bezeichnet sind.

Noch deutlicher wird das Phänomen aus Figur 21. erhellen, die einen Theil eines prismatischen Bildes darstellt. rr ist der rothe, gg der grüne, bb der blaue und vv der violette Theil desselben und der diagonale Streif mn ist der Ort der Minima, der bei m im violetten Theile anfängt und bei n im rothen endigt.

Nicht bloß die Nebenbilder, sondern auch das Hauptbild selbst, fand Brewster bei dem einfallenden weißen Lichte gefärbt, und zwar zeigte es sich bei der erwähnten Platte senkrecht auf die Länge der Furchen von vier breiten Farbenstreifen oder Farbenordnungen, welche mit denen der zurückgeworfenen Farben dünner Platten übereinstimmten, durchkreuzt, welche unter den in der Anmerkung angegebenen Einfallswinkeln erschienen *), so daß die höheren Ordnungen dem Auge näher lagen.

Daß jedoch vier Farbeordnungen erscheinen, ist nichts Constantes. Bei anderen Stahlplatten, die mit einer größern oder geringern Anzahl Furchen (500—10000) auf den Zoll versehen waren, zeigten sich nur die drei ersten Ordnungen von Farben (der Newtonschen Ringe), bei anderen nur die zwei ersten, bei noch anderen nur die erste oder gar nur eine oder zwei Farben der ersten Ordnung (innerhalb der Gränzen der Einfallswinkel von 0° bis 90°), wie aus der Tabelle in der Anmerkung erhellt **).

*) Erste Farbenordnung, von 90° bis 80°. Weiß, Strohgelb, Schwachroth, Blaßroth.
Zweite Farbenordnung, von 80° bis 69° 40′. Blau, Grün, Gelb, Roth, Blaßroth.
Dritte Farbenordnung, von 69° 40′ bis 48°. Blau, Grün, Gelblichgrün, Gelb, Orange, Scharlachroth.
Vierte Farbenordnung, von 48° bis 10°. Blau, Hellgrün, Gelblichgrün, Gelb, Röthlich.

**)

| Zahl der Streifen auf 1 Zoll. | Farbe bei dem Einfallswinkel von 90° — 0°. |
|---|---|
| 500 | Citronengelb der ersten Ordnung. |
| 625 | Eine vollkommene Farbenordnung, und noch dazu Röthlichgelb der zweiten Ordnung. Alle sehr schwach. |
| 1000 | Vier vollständige Farbenordnungen. |
| 1000 | Eine vollständige Farbenordnung nebst Blau, Grün und Gelblichgrün der zweiten Ordnung. |
| 1250 | Eine vollständige Farbenordnung mit Blau und Bläulichgrün der zweiten Ordnung. Die Farben sehr schwach. |
| 2000 | Eine vollständige Farbenordnung nebst Blau, Grün und Grünlichgelb der zweiten Ordnung. |
| 2000 in Wachs | Eine vollständige Farbenordnung und Grünlichgelb der zweiten Ordnung. |

Die vorstehenden Resultate beziehen sich bloß auf Stralen, die von gefurchten Oberflächen zurückgeworfen werden. Die fast vollkommene Durchsichtigkeit dünner Blätter von Fischleim jedoch setzte Brewster in den Stand, auch die durchgehenden Farben zu untersuchen. Diejenigen, welche das Hauptbild zeigt, sind ungemein glänzend, scheinen jedoch weder in der Zahl noch Beschaffenheit in irgend einer Beziehung zu den zurückgeworfenen Farben zu stehen. Dies beweist außer mehreren anderen Versuchen folgender:

| Reflectirtes Licht. | Durchgehendes Licht. | Einfallswinkel. |
|---|---|---|
| Gelb | Dunkelblau | 90°, |
| Orange | Blasser Blau | |
| Blaßroth | Blau | |
| Erste Gränze von Blaßroth und Blau | Blau | |
| Blau | Blaßroth | |
| Grün | Orangeblaßroth | |
| Gelb | Orange | |
| Orange | Gelb | |
| Blaßroth | Gelb | |
| Zweite Gränze von Blaßroth und Blau | Gelb | |
| Blau | Gelb | 0° |

Man erkennt hieraus deutlich, daß das durchgegangene Licht hier nicht die Ergänzungsfarben des reflectirten darstellt. Der einzige directe Gegensatz zwischen beiden besteht darin, daß die Helle der durchgelassenen Farben mit dem Einfallswinkel abnimmt, die der reflectirten mit demselben zunimmt.

Interessant ist die Veränderung, welche die Wirkung eines solchen Fischleimplättchens mit der Zeit erleidet.

Brewster fand in dieser Beziehung an Plättchen, die bereits sechs Jahre alt geworden waren, folgende Resultate:

Ein Plättchen mit 1000 Streifen auf den Zoll, das die vorher beschriebenen Farbenphänomene gewährt hatte, zeigte nach sechs Jahren weder im durchgelassenen noch im reflectirten Lichte ein farbiges Hauptbild, und die Farben der Nebenbilder waren sehr schwach, das vierte konnte man kaum mehr sehen. Ein anderes Plättchen derselben Art zeigte nach sechs Jahren im reflectirten Lichte eine Farbenperiode, die beim Übergange des Einfallswinkels von einer bedeutenden Größe bis zum senkrechten Auffallen des Lichtes von Weiß durch Gelb in Purpurroth überging. Im durchgelassenen Lichte sah man bloß bei einem großen Einfallswinkel ein schwaches Gelb. Ein drittes eben so beschaffenes Plättchen mit besonders scharfen Eindrücken gab im reflectirten Lichte zwei Farbenreihen; die erste Gränze von Blaßroth und Blau erfolgte bei einem Einfallswinkel von 57° 45′, die zweite nahe bei einem senkrechten Einfalle des Lichtes; bei 10° erschien ein Blaßroth. Im durchgelassenen Lichte zeigte sich bei dem größten Einfalls-

winkel eine bläulich grüne Farbe, und ging bei Verminderung des Einfallswinkels durch Purpurroth in Gelb über. Alle diese Farben blieben bei demselben Einfallswinkel unverändert, man mochte das Azimuth wie immer wechseln.

Alle diese durchsichtigen Plättchen erhielten ihre parallelen Linien, mittelst welcher sie die besprochenen Farbenphänomene gewährten, von einem Stahlplättchen durch Abdruck. Weil dadurch letzteres stark gelitten hatte, so entschloß sich Brewster, es mit einem Polirpulver abzuschleifen, und die dadurch bewirkten Veränderungen zu beobachten. Da durch diese mechanische Veränderung der Oberfläche die Größe n vermehrt wurde, so war es kein Wunder, daß die Farben des Hauptbildes verschwanden, aber auch die Farbenunterbrechung war nicht mehr wohl sichtbar, die weiße Lichtmasse verschwand und die prismatischen Nebenbilder erschienen wohl noch in derselben Entfernung vom Hauptbilde, doch nicht mehr in so großer Anzahl.

Endlich mögen noch folgende Erscheinungen erwähnt werden.

Wird ein gefurchtes Fischleimplättchen mn (Fig. 22.) auf eine Glasplatte ABCD gelegt und mit derselben in optische Berührung gebracht, so erscheint dem in df befindlichen Auge quer über das von der Fläche CD reflectirte Bild eine Reihe von Farbenstreifen; sie rühren von den Stralen abcef her, sind mit den Linien auf der Fischleimplatte parallel und verlieren an Breite, so wie die Dicke AC der Glasplatte abnimmt. Kommen 1000 Linien am Plättchen mn auf einen Zoll, so erscheinen diese Streifen so deutlich wie die prismatischen Bilder. Bei einem Versuche dieser Art hatte die Glasplatte nahe die Dicke $\frac{1}{10}$ Zolles, und da schien ein Streifen jedes Bild zu durchschneiden; betrug diese Dicke mehr, so thaten dieses mehrere Streifen; betrug sie $\frac{1}{4}$ Zoll, so wurde sogar das Hauptbild durchkreuzt, bei $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke der Glasplatte aber das zweite Bild nicht mehr durchschnitten. Im ersten Falle, wo AC $= \frac{1}{10}$ Zoll war, waren die beiden Wände des Plättchens einander nicht parallel, und es stand zufällig die Richtung der Streifen auf dem gemeinschaftlichen Durchschnitte der zwei Glasflächen senkrecht, woraus dann von selbst folgte, daß die vom Glase erzeugten Streifen den prismatischen, vom Fischleimplättchen herrührenden Bildern parallel sein mußten, und das Phänomen eine Änderung erleiden mußte, wenn das Plättchen mn auf ABCD gedreht wurde.

Den Grund der hier angeführten Erscheinungen wagt Brewster nicht anzugeben. Er glaubt, sie lassen sich nicht aus einer Beugung oder Interferenz des Lichtes an den Rändern der feinen Streifen erklären, weil sie sich nicht mit der Entfernung des leuchtenden Objectes und des Auges von ihrem Entstehungsorte ändern, auch die neuentdeckten Farben nicht in Richtungen liegen, welche dem Zuge der Furchen parallel sind.

Es scheint vielmehr, die Erklärung müsse damit in Zusammenhang gebracht werden, daß sehr nahe an einander gegrabene Furchen die Brechungs- und Zurückwerfungskraft der dazwischen bleibenden Räume nothwendig ändern müssen, wenn diese Räume kleiner sind, als der Abstand,

bis auf welchen sich die Zurückwerfungskraft erstreckt. In der That findet man, wie wir gesehen haben, daß eine Schwächung der brechenden Kraft durch Bedecken der Platte mit Flüssigkeit einen ähnlichen Einfluß auf die Erscheinung äußert, als Verkleinerung der Zwischenräume. So entwickelt auf einem Plättchen von 312 Furchen auf den Zoll Cassiaöl Farben, die vorher nicht daran zu sehen waren; mit einer Flüssigkeit von noch größerm Brechungsvermögen würde dasselbe auch bei einer noch geringern Zahl Furchen erreicht werden können; und, schließt Brewster, wenn die Flüssigkeit sich in Ansehung ihrer Brechungskraft der des Metalles näherte, so würden selbst ohne Furchen an der Oberfläche des Metalles Farben zum Vorschein kommen.

Man sieht sonach, daß Brewster die Farben, welche an der Trennungsfläche durchsichtiger Mittel von nahe gleichem Brechungsvermögen erscheinen, wovon S. 145 die Rede, mit den hier beschriebenen in Beziehung setzt.

## Absorption farbigen Lichtes durch nicht krystallisirte Körper *).

Herschel legt für die Absorption des Lichtes durch nicht krystallisirte Körper folgende Vorstellungen zu Grunde **):

1) das Verhältniß, in welchem jeder homogene Farbenstral absorbirt wird, ist im Allgemeinen für verschiedene homogene Farbenstralen je nach ihrer Beschaffenheit und der des absorbirenden Mittels verschieden;

2) jeder Stral verliert beim Durchgange durch eine Schicht von gleicher Dicke denselben aliquoten Theil der Intensität, die er beim Eintritt in diese Schicht noch besaß.

Gesetzt z. B. 1000 rothe Stralen drängen in ein gewisses Glas und es würden deren 100 beim Durchgange durch $\frac{1}{10}$ Zoll Dicke absorbirt, so würden in dieser Tiefe 900 zurückgeblieben sein; beim Durchgange durch den zweiten Zehntheil Zoll würden von diesen 900 Stralen wieder $\frac{1}{10}$, d. i. 90 absorbirt werden, so daß zu Anfange des dritten Zehntheilchens nur noch 810 Stralen vorhanden sein werden, von denen beim Durchgange durch dessen dritten Zehntheilszoll 81 erlöschen würden u. s. f.

Die letztere (übrigens nur als hypothetisch ausgesprochene) Annahme von Herschel kommt also darauf zurück, daß die Quantität Stralen, welche beim Hindurchgehen durch eine gewisse Tiefe t unabsorbirt bleiben, sich nach geometrischer Progression mindern wird, während t in arithmetischer Progression wächst. Setzt man sonach die Totalmenge der einfallenden Stralen = 1, und nennt die Zahl derer, welche nach dem Hindurchgehen durch die Einheit der Dicke oder Tiefe unabsorbirt geblieben sind, y, so

*) Herschel vom Lichte S. [illegible].

**) Die Absorption des Lichtes in krystallinischen Mitteln hat Herschel ebenfalls zweckmäßig betrachtet in s. Werke S. [illegible].

wird $y^t$ die Zahl der Stralen sein, welche nach dem Hindurchgange durch eine beliebige Tiefe t unabsorbirt geblieben sind.

Ob die hier aufgestellte Annahme richtig sei, scheint mir allerdings in Zweifel gestellt werden zu können, wenn wir uns erinnern, daß, wenn die Stralwärme, die in so vieler Hinsicht ein dem Lichte ähnliches Verhalten befolgt, durch successive Glasplatten hindurchgeht, die Absorption durch jede spätere Glasplatte verhältnißmäßig kleiner wird als für jede frühere*), während Herschel die Absorption des Lichtes bei der vorigen Annahme für alle successiven Schichten gleicher Dicke als verhältnißmäßig gleich voraussetzt. Indeß lassen sich doch die bis jetzt beobachteten Thatsachen über die Absorption des farbigen Lichtes durch unkrystallisirte Mittel nach der Hypothese Herschel's recht wohl darstellen, wenn sie gleich, da man keine messenden Bestimmungen darüber hat, nicht als beweisende Belege dafür gelten dürfen. Wir wollen in diesem Bezuge die nähere Entwickelung von Herschel's Vorstellung folgen lassen.

Der Werth von y ist nothwendig kleiner als 1 und hängt zugleich von der Beschaffenheit des Strales und der des Mittels ab. Wenn man nun mit C die Anzahl rother Stralen von gleicher Intensität, welche in einen weißen Stral eingehen, bezeichnet, mit C′ die Zahl der, den rothen in der Brechbarkeit zunächst stehenden, Stralen, die der weiße Stral enthält, u. s. f., so wird der Ausdruck des weißen Strales sein

$$C + C' + C'' + \text{rc.}$$

und der des durchgelassenen in der Tiefe t

$$C.\, y^t + C'.\, y'^t + C''.\, y''^t + \text{rc.}$$

wo y, y′, y″ rc. die respectiven Werthe von y, welche jedem homogenen Strale besonders zukommen, sind.

Offenbar kann zufolge der Form dieses Ausdruckes streng genommen nie eine vollkommne Absorption in einer begränzten Tiefe Statt haben. Ist aber der Bruch y ziemlich klein, so reicht eine mittelmäßige Dicke hin, den Bruch $y^t$ ganz unmerklich zu machen. Im vorstehenden Beispiele, wo $\frac{1}{10}$ Zoll Dicke $\frac{1}{10}$ der rothen Stralen verlöschte, würde ein ganzer Zoll Dicke bloß $(\frac{9}{10})^{10}$ oder 304 rothe Stralen von 1000 durchgehen lassen; 10 Zoll aber würden bloß $(\frac{9}{10})^{100} = 0{,}0000266$, d. i. weniger als drei Stralen von 100000 durchgehen lassen, welches einer vollkommenen Undurchsichtigkeit merklich gleich zu setzen wäre.

Man kann auf folgende Weise die absorbirende Wirkung eines Mittels auf das Licht durch eine Curve ausdrücken, aus welcher sich für jede Dicke des Mittels die Anzahl der durchgehenden Stralen bestimmen läßt.

Man stelle die Totallänge des durch Wasser erzeugten Farbenspectrums durch die Linie RV (Figur 24.) vor, und errichte an den verschiedenen Puncten dieser Linie (welche die verschiedenen Stellen der einzelnen Farben

*) Biot V. 

im Farbenspectrum bezeichnen), die senkrechten Linien (Ordinaten) RR', MN, VV', ꝛc., die alle unter sich und der Einheit gleich sind, indem man damit die überall = 1 gesetzte Intensität jedes einfallenden Farbestrales bezeichnet. Man wird dann den Bruchtheil, der nach dem Hindurchgehen durch eine Dicke = 1 von jedem Farbenstrale noch übrig ist, d. i. den jedem Farbenstrale zukommenden Werth von y, durch eine entsprechende Länge der diesem Farbenstrale zugehörigen Ordinate bezeichnen, so daß man z. B., wenn von den äußersten rothen Stralen beim Hindurchgehen durch die Dicke = 1 ein $\frac{1}{10}$, und von den äußersten violetten Stralen $\frac{1}{8}$ absorbirt wird, die Ordinate Rr = $\frac{9}{10}$ von RR' und die Ordinate Vv = $\frac{7}{8}$ von V' nehmen wird, um den Verhältnißtheil, der von beiden Farben nach dem Hindurchgehen durch die Dicke 1 noch unabsorbirt geblieben ist, zu bezeichnen, und auf entsprechende Weise wird man mit den zwischen Roth und Violett fallenden Farben, wie MP u. s. f., verfahren. Durch die Vereinigung der Endpuncte aller dieser Ordinaten (von denen in der Figur bloß die äußersten und eine der mittlern verzeichnet ist) wird man nun eine Curve wie rPv erhalten, deren Gestalt dazu dient, die Änderungen der Absorptionsgröße, welche in demselben Mittel für die einzelnen Farbenstralen Statt finden, auszudrücken, indem die Höhe jeder beliebigen Ordinate MP (in Verhältniß zu MN) den Bruchtheil Stralen anzeigt, der von jeder Farbe, die dem Fußpuncte der Ordinate im Spectrum entspricht, noch unabsorbirt geblieben ist. Die Gerade R'NV' würde solchergestalt ein Mittel von vollkommener Durchsichtigkeit bezeichnen.

Hat man einmal die Curve rPv für eine Dicke = 1 gefunden, so kann man sie nach der oben untergelegten Voraussetzung, daß jeder Stral beim Durchgange durch eine Schicht von gleicher Dicke denselben aliquoten Theil der Intensität, die er beim Eintritt in diese Schicht noch besitzt, verliert, leicht für eine Dicke = 2, = 3 u. s. f. verzeichnen.

Gesetzt nämlich es sei:

$$MP' : MP = MP : MN$$
$$MP'' : MP' = MP' : MP \text{ ꝛc.}$$

so werden durch die Orte von P', P'' ꝛc. die Curven gegeben werden, welche die Quantitäten Licht darstellen, die durch die Tiefen = 2, = 3 u. s. f. bringen, und es erhellt, daß man solchergestalt selbst Curven für Dicken, die kleiner als 1 sind, finden kann, die dann zwischen rPv und R'NV' fallen werden, wie z. B. gUu.

Von welcher Farbe auch das Mittel sein mag, so vermag es doch alle Farben ohne Unterschied (nur in verschiedenen Verhältnissen) durchzulassen, denn, wenn die Dicke oder Tiefe sehr klein oder merklich t = o ist, so hat man

$$y^t = 1$$

welches auch der Werth von y sein mag, so daß, je kleiner die Tiefe ist, um so näher die Curve gUu der Geraden R'NV' kommt, wie denn in der

That alle farbigen Gläser weiß erscheinen, wenn man sie zu ganz dünnen Flaschen ausbläst, was auch mit dem Schaume aller farbigen Flüssigkeiten der Fall ist.

Für Mittel von sehr dunkler Farbe sind alle Werthe von y klein. Wären sie gleich, so würde das Mittel den Lichtstral bloß schwächen ohne ihn zu färben; allein bis jetzt ist kein Mittel bekannt, welches diese Bedingung streng erfüllte.

Wenn ein Mittel gewisse Farbenstralen leichter als die übrigen durch sich hindurchläßt, so kann man durch Vermehrung seiner Dicke diese Farbe beliebig zum Vorwiegen bringen; in der That, wie wenig auch der für diese Farbe geltende Werth von y die Werthe von y für die anderen Farben übertreffen mag, so wird doch t immer hinreichend groß genommen werden können, daß die Werthe von $y^t$ für letztere Farben gegen den Werth von $y^t$ für erstere merklich verschwinden.

Wenn daher die Curve r P v, die ein absorbirendes Mittel vorstellt, ein Maximum in einem beliebigen Theile des Spectrums, z. B. im Grün (Figur 25.), hat, so kann man, welches auch das Verhältniß der anderen Farben zu der letztern sein mag, doch immer letztere zum Vorwalten bringen, wenn man dem Mittel eine hinreichende Dicke giebt. Die letzte Farbe des Mittels oder der letzte Farbestral, den es bei hinreichend großer Dicke noch durchläßt, wird für vollkommen homogen und mit der besondern Brechbarkeit, welcher die Maximumordinate entspricht, begabt zu achten sein *).

Im übergange von kleineren zu größeren Dicken können, je nach der Beschaffenheit der Curve, durch welche das Mittel vorgestellt wird, öfters Farbenänderungen eintreten. So werden zwar die grünen Gläser, die durch Figur 25. dargestellt werden, bei zunehmender Dicke immer dunkler grün; die gelben Gläser (Figur 26.) dagegen ändern ihre Farbe bei zunehmender Dicke, indem sie erst braun, dann roth werden. Manche Mittel werden durch Curven von sehr unregelmäßiger Form mit mehreren Maximis und Minimis, die verschiedenen Farben entsprechen, repräsentirt. So hat die Curve einer Auflösung von salzsaurem Chrom, so wie von Saftgrün, zwei besondere Maxima (Figur 27.), deren eins dem äußersten Roth, das andere dem Grün entspricht; die absoluten Längen dieser Maxima aber

*) In der That sieht man in Fig. 25., wie bei den unteren Curven (welche den größeren Dicken entsprechen) das Verhältniß der Ordinaten, welche den äußeren Farbestralen zugehören, zu den Ordinaten der mittlern grünen nur noch sehr klein ist, während es bei den ebenen Curven noch beträchtlich ist. Bei noch größeren Dicken würden die Ordinaten der äußeren Farbestralen zwar nicht genau, aber doch so gut als null werden, während die Ordinaten des grünen Strales noch einen merklichen Werth behielten, und dann würde der Fall der merklichen Homogeneität eingetreten sein. Solche Fälle, wo die Ordinaten im Fortschritte der Dicke für gewisse Farbestralen merklich null werden, sind in einigen der folgenden Figuren verzeichnet, so in Figur 26. für die violetten und blauen, wenn man deren Ort im Spectrum zur rechten Hand annimmt.

sind ungleich, indem das Roth das Grün übertrifft. Da die rothen Stralen sehr schwach erhellen, so afficirt das Grün, welches eine große Lebhaftigkeit besitzt, das Auge stärker und waltet anfangs (bei geringeren Dicken) vor; doch wird die Gegenwart dieser rothen Stralen schon bemerklich, bevor die Dicke hinlänglich groß geworden ist, um die grünen Stralen ganz auszulöschen. Dies ist der Fall, welcher durch die unteren Curven der Figur 27. vorgestellt wird *).

Um dieß durch ein numerisches Beispiel zu erläutern, wollen wir annehmen, der Werth von y sei für die Auflösung des salzsauren Chroms gleich 0,9 für die äußersten rothen Stralen; 0,1 für das gewöhnliche Roth, das Orange und das Gelb; 0,5 für das Grün; 0,1 für das Blau, das Indig und Violett. Nehmen wir ferner einen Stral weißen Lichtes als bestehend an aus 10000 Farbestralen von gleicher Intensität in folgendem Verhältniß:

| | |
|---|---|
| äußerste rothe Stralen | 200 |
| rothe und orange | 1300 |
| gelbe | 3000 |
| grüne | 2800 |
| blaue | 1200 |
| indigo | 1000 |
| violette | 500 |

Nach dem Durchgange durch die Dicke r wird folgendes die Zahl der übriggebliebenen Stralen sein:

| | |
|---|---|
| äußerste rothe | 180 |
| rothe und orange | 130 |
| gelbe | 300 |
| grüne | 1400 |
| blaue | 120 |
| indigo | 100 |
| violette | 50 |

Nach dem Durchgange durch die zweite Einheit der Dicken werden übrig sein:

| | |
|---|---|
| äußerste rothe | 162 |
| rothe und orange | 13 |
| gelbe | 30 |
| grüne | 700 |

*) Man kann einen Versuch hierüber anstellen, indem man zwischen zwei Glasplatten, welche einen ziemlich spitzen Winkel mit einander bilden, eine Auflösung von Saftgrün oder salzsaurem Chrom gießt. Sieht man durch den Theil dieses Prismas, welcher der Kante zunächst ist, ein weißes Papier oder eine weiße Wolke an, so wird der Gegenstand schön grün erscheinen; führt man aber das Prisma vor dem Auge fort, so daß man successiv durch eine immer größere Dicke hindurchsieht, so wird das Grün immer dunkler, bis es sich in ein unentschiedenes Braun verwandelt, welches bald in Blutroth übergeht.

| | |
|---|---|
| blaue | 12 |
| indigo | 10 |
| violette | 5 |

Nach dem Durchgange durch die dritte bis sechste:

| | dritte | vierte | fünfte | sechste |
|---|---|---|---|---|
| äußerste rothe | 146 | 131 | 118 | 106 |
| rothe und orange | 1 | 0 | 0 | 0 |
| gelbe | 3 | 0 | 0 | 0 |
| grüne | 350 | 175 | 87 | 43 |
| blaue | 1 | 0 | 0 | 0 |
| indigo | 1 | 0 | 0 | 0 |
| violette | 0 | 0 | 0 | 0 |

Man sieht hieraus, daß das Grün nach der ersten Dicke noch sehr über die anderen Farben vorwaltet; eben so noch nach der zweiten; nach der dritten aber mischt sich das Roth in hinlänglich großer Quantität bei, daß die Reinheit der Farbe merklich dadurch geändert wird. Nach der vierten Dicke kann man alle Farben außer Roth und Grün für merklich absorbirt halten, so daß nur eine trübe Farbe zwischen Roth und Grün bleibt; das Roth wird nach den folgenden Dicken immer vorwaltender, bis man nichts weiter als homogenes Roth, wie es sich an den Gränzen des Spectrums findet, unterscheiden kann.

Die bisherige Art, die Phänomene graphisch darzustellen, ist in so fern nicht ganz naturgetreu, als in dem einfallenden weißen Lichte die Intensität aller Farben, oder die Anzahl der Stralen, woraus sie bestehen, einander gleich gesetzt worden ist, dagegen die verschiedenen Farbestralen im Spectrum eine verschiedene Intensität haben. Fraunhofer hat diese Intensität für die verschiedenen Farben bestimmt und hienach die Curve Fig. 28. construirt, deren Ordinaten die Erleuchtungskraft der Farben in dem entsprechenden Theile des Spectrums, wo sie errichtet sind, oder, was dasselbe sagt, die proportionale Anzahl der gleich stark leuchtenden Stralen von dieser Brechbarkeit in weißem Lichte angeben. Wollten wir dies bei unserer geometrischen Construction berücksichtigen, so müßten wir für die Darstellung des einfallenden weißen Lichtes, oder dessen, was durch eine Dicke = 0 hindurchgeht, statt der geraden Linie R′V′ in Figur 24. und den folgenden Figuren eine der Figur 28. ähnliche Figur als Curve wählen, und die übrigen krummen Linien aus dieser auf die angegebene Art ableiten.

Herschel erläutert die hier aus einander gesetzte Art, die Erscheinungen der Farbenverschluckung zu repräsentiren, noch an mehreren Beispielen; worüber ich auf die Originalabhandlung verweise.

### Undulationslängen der verschiedenen Farbenstralen in Millimetern.

Fraunhofer hat die von ihm gemessenen Undulationslängen $\lambda$ der Stralen, die von ihm mit den Buchstaben B, C, D, E, F, G, H im

Farbenspectrum bezeichnet werden (Biot's Lehrb. Taf. XXI. Fig. 1.; B im rothen, H im violetten Ende des Spectrums), in Pariser Zollen ausgedrückt. Folgendes ist ihr hiemit zusammengestellter Werth in Millimetern, durch Multiplication jener Werthe mit 27,070 erhalten.

| | | Pariser Zoll. | | Millimeter. |
|---|---|---|---|---|
| Für den Stral B . . | λ = | 0,000 02541 | = | 0,000 6878 |
| C . . | = | 0,000 02425 | = | 0,000 6565 |
| D . . | = | 0,000 02175 | = | 0,000 5888 |
| E . . | = | 0,000 01943 | = | 0,000 5260 |
| F . . | = | 0,000 01789 | = | 0,000 4843 |
| G . . | = | 0,000 01585 | = | 0,000 4291 |
| H . . | = | 0,009 01451 | = | 0,000 3928 |

### Darstellung der Complementärfarben, von Brockedon.

Man verzeichnet auf Papier mit dicken Linien ein gleichseitiges Dreieck, und macht eine dieser Linien roth, die andere blau, die dritte gelb, wo dann ihre respectiven Durchschnitte orange, violett oder purpurn, grün erscheinen werden. Von diesen Farben steht immer eine aus zwei Hauptfarben (so nennt Brockedon die rothe, blaue und gelbe) bestehende zusammengesetzte der dritten Hauptfarbe gegenüber. Man ziehe nun um das Dreieck einen breiten Kreis, mahle in die Linien, welche von der mittlern Stelle jeder der sechs Farben des Dreieckes zum Kreis gehen, diese Farbe, und lasse die Farben sich mischen, so daß z. B. das Roth desto mehr in Gelbroth übergeht, je näher es dem Gelb kommt, bis es endlich in der Mitte zwischen Roth und Gelb Orange wird, und darüber hinaus das Gelb immer mehr vorherrschend erscheint, bis das Roth ganz verschwindet und am gelben Radius nur das Gelb allein zum Vorschein kommt. Dieses geht dann immer mehr und mehr durch Beimischung von Blau in tieferes Grün über, das Blau durch Beimischung des Roth in Purpurroth, bis der Kreis mit Roth endigt. Auf diesen Kreis oder vielmehr Ring lege man eine papierne Scheibe, die sich um eine durch ihren und des farbigen Ringes Mittelpunct gehende Axe dreht, und zwei diametral entgegengesetzte Längenausschnitte hat, durch welche man die Farben des Ringes sieht. Wie diese Scheibe auch gedreht werden mag, so sind doch immer die Farben, welche man durch die zwei Ausschnitte sieht, complementär, d. h. sie ergänzen sich zu Weiß. Sieht man z. B. zugleich Roth und Grün, so wird beim Drehen der Scheibe das Roth in dem Maße in Purpur übergehen, in welchem das entgegenstehende Grün gelber wird, bis endlich vollkommen reines Purpur dem reinen Gelb gegenüber zu stehen kommt. Sieht man eine der zwei Farben lange genug unverrückten Auges an, und deckt sie dann mit einem weißen Blatte, so sieht man auf demselben die Farbe, welche der gegenüber stehende Ausschnitt darstellt.

*) Quart. Journ. Nr. 14. p. [illegible] oder Baumg. Zeitschr. VIII. 471.

## X. Katoptrische und dioptrische Instrumente und dazu angewandte Materialien.

Eine Zusammenstellung über die neuern Verbesserungen der Teleskope und Mikroskope in England hat Marx gegeben in Schweigg. J. LVIII. 166; LX. 60, 173. Eine Zusammenstellung der Regeln, welche beim Gebrauche von Mikroskopen für Naturforscher in Betracht kommen, liefert Jacquin in Baumg. Zeitschr. V. 129.

Eine Darstellung des Geschichtlichen und der Wirkungen achromatischer Linsen für Mikroskope von Lister findet sich in den Phil. transact. 1830. P. I. p. 187 (hieraus in Baumg. Zeitschr. VIII. 476).

### Von den Mängeln des zu optischen Zwecken angewandten Glases *).

Faraday stellt das hieher Gehörige in folgenden Puncten zusammen:

1) Durchsichtigkeit, Härte, ein gewisser Grad von lichtbrechender und farbezerstreuender Kraft, die Eigenschaften, welche das Glas zu optischem Gebrauche so schätzbar machen, sind ihm ohne Mühe zu geben; allein die zu allen feineren Anwendungen desselben so wesentliche Bedingung einer vollkommen homogenen Beschaffenheit ist nicht so leicht zu erfüllen. Die einzelnen Theile des Glases mögen für sich ganz tadelfrei sein, allein ohne diese Bedingung wirken sie vereint nicht mit Gleichförmigkeit; die Lichtstralen werden von dem Wege, den sie nehmen sollen, abgelenkt, und das Glasstück wird dadurch unbrauchbar. Die Streifen, Schlieren, Adern und Fäden entspringen aus einer solchen Ungleichheit, aus einer Verschiedenheit in der Brechkraft zwischen den benachbarten Theilen des Glases, und sie werden sichtbar, weil sie das durchgehende Licht vom geraden Wege ablenken.

2) Können diese Unregelmäßigkeiten schon so groß sein, daß man sie mit bloßem Auge wahrnimmt, so müssen sie, wie leicht zu erachten, einen noch weit beträchtlicheren Nachtheil in Fernröhren ausüben, da hier ihre Wirkung viele Male vergrößert erscheint. Die Streifen sind die allerschlimmsten Fehler eines optischen Glases, und sie schaden nicht nur an sich, sondern es ist auch sehr wahrscheinlich, daß ihre Gegenwart mit einem sonstigen Mangel an Homogeneität verbunden ist. Ein Sandkorn zwar, welches durch die Glasmasse dringt und sich in ihr auflöst, kann zuweilen einen Faden von anderer Zusammensetzung als die umgebende Masse hervorbringen, und eine aufsteigende Blase hinterläßt vielleicht in einer leichten und schwach brechenden Substanz eine Ader von größerer Schwere und Brechkraft; allein sehr oft sind die Streifen nur die Linien oder Ebenen,

*) Pogg. XVIII. 518.

worin zwei verschiedene Glassorten zusammenstoßen; und wenn man nun auch diese Streifen verdeckt, so daß sie ohne nachtheiligen Einfluß bleiben, so können doch die übrigen Theile, da sie nicht in jeder Beziehung einerlei sind, eine ungleiche Wirkung auf das Licht ausüben, und das Glasstück für die Construction eines Fernrohres untauglich machen. Schon manche Scheibe, die bei der sorgfältigsten Untersuchung frei von Streifen und völlig homogen erschien, hat sich, nachdem sie zu einem Objective geschliffen wurde, als untauglich erwiesen, weil in der Masse Unregelmäßigkeiten vorhanden waren, die, wenn auch nicht groß genug, um Streifen zu erzeugen, doch ein ganz verworrenes Bild hervorbrachten; und wenn sich dies bei einem der Vollkommenheit so nahe stehenden Glase ereignet, wie viel häufiger und in welch größerem Maße muß es der Fall sein bei einem solchen, wo die Unregelmäßigkeiten schon für das bloße Auge sichtbar sind.

3) Man muß nicht glauben, daß die Streifen, wie man sich zuweilen auszudrücken pflegt, von Unreinheiten herrühren. Sowohl auf als neben dem Streifen würde das Glas gleich gut zu optischem Gebrauche sein, wenn es nur überall von einerlei Beschaffenheit wäre. Aber in der Ungleichheit eben liegt der Fehler, und in dieser Beziehung ist die Zusammensetzung selbst von sehr geringem Belange. Da das Glas aus Substanzen besteht, die an Brechkraft verschieden sind, so muß es während seiner Bereitung immer einen Moment geben, wo Streifen vorhanden sind. Man hat also weniger dahin zu trachten, gerade die Verhältnisse zu erlangen, welche in einem als gut anerkannten Glase durch Analyse aufgefunden wurden, als vielmehr einen Proceß zu erdenken, durch welchen die Streifen jener Periode vor der Vollendung des Glases vernichtet und neue verhindert werden.

4) Außer diesen Mängeln giebt es noch andere im Glase. Zuweilen ist es, wie man sagt, wellig, wenn es in seiner Masse das Ansehen von Wellen hat; doch ist dies nur eine Abänderung jener Unregelmäßigkeit, welche im höheren Grade als Streifen und Schlieren erscheint. Hin und wieder bemerkt man auch Anzeigen von einer besondern Structur oder Krystallisation, oder einer unregelmäßigen Spannung seiner Theile, welche Fehler man aber sehr wahrscheinlich durch ein sorgfältiges Abkühlen vermeiden kann. Ferner schließt das Glas zuweilen auch Blasen ein. Diese Blasen wirken wie kräftige, aber sehr kleine bi-convexe Linsen von einer lockern Substanz in einem sehr dichten Medio, oder wie eben so tiefe bi-concave Glaslinsen in Luft wirken würden; sie lenken daher die von ihnen aufgefangenen Lichtstralen stark nach der Seite ab, und veranlassen so einen Lichtverlust, gerade wie es dunkle Flecke von gleicher Größe gethan haben würden. Da indeß, selbst wenn sie zahlreich sind, ihre Gesammtheit nur einen geringen Theil von der Fläche des Objectives eines Fernrohres einnimmt, so ist dieser Lichtverlust meistens nur von geringer Bedeutung. Für die Praxis haben die Blasen, wie man sagt, keinen andern Nachtheil, als diesen Lichtverlust.

5) Unter allen Fehlern ist der, welcher die Streifen, Schlieren und Wellen hervorbringt, am schwersten zu vermeiden und von den nachtheiligsten Folgen. Von den beiden Glassorten, welche zur Achromatisirung eines Fernrohres erfoderlich sind, nämlich dem Crown- oder Tafelglas und dem Flintglas, ist das letztere am schwierigsten von vollkommener Beschaffenheit zu erhalten, wie auch aus der Zusammensetzung beider Gläser hervorgeht. Das Crownglas besteht aus Kieselerde, Kalk, Eisenoxyd und zuweilen etwas Alkali und einer geringen Menge anderer Substanzen. Diese Stoffe sind an Brechkraft nicht sehr verschieden, und es entstehen daher beim Schmelzen keine starken Streifen, wenn auch in der Zusammensetzung der verschiedenen Theile des Glases eine geringe Ungleichheit vorhanden ist. Auch wirkt dies Glas nicht sonderlich auf die Masse des Tiegels, worin es geschmolzen wird, so daß es, obgleich es viele Stunden im flüssigen und erhitzten Zustande mit ihr in Berührung steht, doch nicht viel von ihr auflöst, und da das Aufgelöste in seiner Brechkraft nur wenig von der des Glases abweicht, so entspringt daraus nur ein verhältnißmäßig geringer Nachtheil. Ferner ist das specifische Gewicht der Bestandtheile dieses Glases nicht sehr verschieden, und daher wird die Masse, vermöge der aufsteigenden Blasen und der durch Temperaturdifferenz hervorgerufenen auf- und absteigenden Ströme, weit schneller durch einander gerührt, und der Gleichförmigkeit in einer gegebenen Zeit weit näher gebracht, als es bei größeren Unterschieden der Fall sein würde.

6) Vom Tafelglase gilt fast dasselbe. Es besteht im Wesentlichen aus Kieselerde und Alkali, da die übrigen Bestandtheile nur in geringer Menge vorhanden sind. Seine Wirkung auf die Tiegel ist etwas größer als die des Crownglases.

7) Beim Flintglase sind mehrere Umstände gänzlich verschieden. Es besteht zum Drittel seines Gewichtes oder mehr aus Bleioxyd, und dies giebt ihm nicht bloß das große Gewicht, sondern auch dasjenige Verhältniß von lichtbrechender und zerstreuender Kraft, wodurch es in Vereinigung mit Crown- oder Tafelglas so schätzbar wird. Eine dritte Eigenschaft dieses Glases ist seine große Schmelz- und Lösekraft. Unglücklicherweise sind nun diese drei Eigenschaften der Bildung von Streifen sehr förderlich. Der geringste Unterschied in der Zusammensetzung benachbarter Theile wird sogleich sichtbar, weil das Bleioxyd in seinen Eigenschaften so sehr von den übrigen Substanzen verschieden ist; und eine Variation in den Verhältnissen, welche beim Crown- und Tafelglase keine sichtbare Wirkung für das bloße Auge hervorbrächte, würde beim Flintglase starke Streifen erzeugen. Deshalb muß hier die Mischung viel vollkommener sein, als bei den beiden anderen Glassorten; allein unglücklicherweise vereinigt sich Alles, sie nur noch unvollkommener zu machen. Das Bleioxyd ist eine so schwere und zugleich so leichtflüssige Substanz, daß sie schmilzt und zu Boden sinkt, wenn noch die leichteren Substanzen im oberen Theile des Hafens angehäuft liegen; unter den gewöhnlichen Umständen ist die Mi-

schung so unvollkommen, daß man aus dem obern und untern Theile eines und desselben Tiegels ein Glas von sehr verschiedenem specifischen Gewichte bekommt. Folgende Resultate liefern hiezu Belege. Das Glas, aus den gewöhnlichen Materialien bereitet, hatte in den Tiegeln nur eine Tiefe von sechs Zoll und war 24 Stunden lang in voller Hitze erhalten. Specifisches Gewicht:

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Oben | 3,38 | 3,30 | 3,28 | 3,21 | 3,15 | 3,73 | 3,85 | 3,81 | 3,31 | 3,30 |
| Unten | 4,04 | 3,77 | 3,85 | 3,52 | 3,80 | 4,63 | 4,74 | 4,75 | 3,99 | 3,74 |

Diese Unterschiede, zur Erläuterung ausgewählt, sind groß; doch steht es allem Anscheine nach nicht zu bezweifeln, daß derselbe Zustand, wenn auch nicht in diesem Grade, in jedem gewöhnlichen Hafen mit Flintglas Statt findet.

8) Einen andern merkwürdigen Beweis von dem Vorwalten des Bleioxydes am Boden lieferten mehrere Glasstücke, als sie senkrecht durchbrochen und der Wirkung des Schwefelwasserstoffgases ausgesetzt wurden. Nur am Boden liefen sie an und zwar sehr stark, oben aber gar nicht.

9) Bei solcher Beschaffenheit der flüssigen Masse ist klar, daß alle die Umstände, als Strömungen, Blasen rc., welche dahin streben, das Glas durch einander zu rühren, eine Menge von Streifen und Adern von außerordentlicher Stärke erzeugen müssen, falls sie nicht so lange in Thätigkeit bleiben, bis die Mischung gleichförmig geworden ist, welcher Zustand aber in einem Tiegel mit Flintglas wohl selten, vielleicht nie eintritt. Denn das Glas löst beständig etwas vom Tiegel auf, und da nun das an den Seiten und am Boden Aufgelöste, vermöge seiner größern Leichtigkeit und vermöge der von den heißeren Theilen des Tiegels aufsteigenden Ströme, beständig mit der übrigen unverschlechterten Masse vermischt wird, so entspringt daraus jene Unregelmäßigkeit in der Zusammensetzung, welche Streifen erzeugt.

10) Sehr wichtig für die Anwendung der Gläser zur Construction von Fernröhren ist, daß diese Gläser nicht von den gewöhnlich in der Atmosphäre befindlichen Substanzen verändert oder angegriffen werden, ein Fehler, wovon auch Flint- und Tafelglas nicht ganz frei sind. Die oberflächlichen Veränderungen des Glases, welche seinem optischen Gebrauche schaden, sind von zweierlei Art. Die eine zeigt sich durch ein Mattwerden oder im verstärkten Grade durch ein Irisiren der Oberflächen. Man kann sie augenblicklich durch Schwefelwasserstoffgas hervorbringen, welches das Bleioxyd reducirt und Schwefelblei daraus bildet. Diese Veränderung findet nur beim Flintglase Statt und wird entweder durch Schwefelwasserstoffgas oder durch schweflige Dämpfe hervorgebracht. Im Tafelglas ist die Veränderung anderer Natur; sie erscheint als kleine Vegetationen oder Krystallisationen, welche überall, wo sie sich ausbreiten, den Durchgang des Lichtes verhindern. Dollond ist nach seinen langen Erfahrungen geneigt, letztere Verletzung für die schädlichere zu halten. Vorhandenes Alkali äußert einen sehr großen Einfluß zur Beförderung des Anlaufens bleihaltiger Glä-

ser, wie folgende von Faraday beobachtete Thatsachen lehren. Gewöhnliches Flintglas besteht aus 33,28 Bleioxyd, 51,93 Kieselerde und 13,77 Kieselerde; die übrigen Substanzen sind nur in sehr geringer Menge vorhanden, und können daher vernachlässigt werden. Vermehrt man das Bleioxyd, was demnach 33,28 Hundertel vom Ganzen beträgt, nur ein wenig, um das Dispersionsvermögen zu erhöhen, so wird das Glas, in einer städtischen Atmosphäre, sogleich zum Anlaufen geneigt. Dies ist der Fall mit einem Guinand'schen Glase, welches, nach der Analyse, aus 43,05 Bleioxyd, 44,3 Kieselerde und 11,75 Kali besteht. Wenn indeß das Alkali fehlt, kann die Menge des Bleioxydes ohne Schaden außerordentlich vermehrt werden, wie denn ein Glas, welches aus 64 Bleioxyd und 36 Borarsäure bestand, innerhalb 18 Monaten an derselben Stelle nicht anlief, wo Flintglas matt geworden war. Noch deutlicher geht dies aus folgendem Falle hervor: Ein Glas, bestehend aus gleichen Gewichtstheilen Kieselerde und Bleioxyd, zeigte an gewöhnlicher Luft seit dem Februar 1828 keine Neigung zum Mattwerden. Als acht Theile von diesem mit dem Äquivalent von 1 Theil Kali an Pottasche zusammengeschmolzen wurden, entstand ein Glas, welches stark anlief. Andere 8 Theile dagegen, die man noch mit 8 Theilen Bleioxyd mehr zusammenschmolz, so daß der Gehalt an diesem fast verdoppelt wurde, lieferten ein Glas, welches nicht im geringsten Grade anlief.

## Neuere Versuche zur Bereitung eines Glases zu optischem Gebrauche, von Faraday *).

Die Schwierigkeiten, ein von allen Mängeln freies Glas zu optischen Zwecken darzustellen, sind nach vorstehenden Erörterungen sehr groß, wie u. a. dadurch bestätigt wird, daß Dollond, einer der ersten engl. Optiker, seit den letzten 5 Jahren nicht im Stande war, eine Scheibe Flintglas von 4½ Zoll im Durchmesser zu erhalten, die zu einem Fernrohre getaugt hätte. Einige Personen haben jahrelang die mühsamsten Arbeiten unternommen, um diese Schwierigkeiten zu überwinden, so Guinand, der mit geringen Mitteln aber großer Ausdauer seine Untersuchungen im Jahre 1784 begann und bis zu seinem Tode im Jahre 1823 fortsetzte. Auch Fraunhofer beschäftigte sich unablässig mit der Lösung dieses praktischen Problems. Im Besitze aller der Vortheile, die eine gründlich wissenschaftliche Bildung und ausgedehnte Hülfsmittel ihm darboten, arbeitete er in der Glashütte, wie in der Werkstatt und dem Studierzimmer, beständig sein Vorhaben im Auge behaltend, bis auch ihn der Tod den Wissenschaften entriß. Beide Männer haben allerdings große Stücke eines vollkommenen Glases dargestellt, allein sie haben — sei es, daß ihre Erfahrungen gänzlich praktischer, nicht mittheilbarer, Natur waren oder daß andere Umstände im Wege lagen — keine befriedigende Anweisung hinterlassen, solches Glas mit Sicher-

*) Pogg. XVIII. 515.

3,616, das von einem gewöhnlichen Flintglase 3,290, das vom Tafelglase 2,5257 und das vom Crownglase 2,5448.)

Brechungs- und Zerstreuungsvermögen. Dasselbe wurde von Herschel von A und B folgendermaßen gefunden ($\mu$ ist der Brechungsindex):

| | | A. | B |
|---|---|---|---|
| Brechender Winkel des Prisma | | 30° 26′ | 29° 6′ |
| Refractionsindex für das äußere Roth | $\mu =$ | 1,8521 | 2,0430 |
| — — — Maxim. des Gelb | $\mu =$ | 1,8785 | 2,0652 |
| — — — äußere Violett | $\mu =$ | 1,9135 | 2,1223 |
| Dispersionsindex $= \dfrac{\delta\mu}{\mu - 1}$ | $=$ | 0,0703 | 0,0740 |

Diese kräftige Wirkung auf das Licht ist mit keinem Umstande verbunden, welcher etwa das Glas zur Compensation mit Crown- oder Tafelglas untauglich machte; indem drei deshalb geschliffene Objective bewiesen, daß die Compensation mit ihnen eben so leicht, als mit dem Flintglase bewerkstelligt werden kann.

Farbe. Die Gläser A und B scheinen in noch weit höherm Maße als das Flintglas geneigt zu sein, die Farbe von beigemengten Mineralsubstanzen zu entwickeln, wodurch es schwer wird, sie ganz farblos zu erhalten. Ihre gewöhnliche Farbe ist mehr oder weniger gelb und rührt wahrscheinlich immer von einem geringen Eisengehalte her. Durch Erwärmung wird sie erhöht und durch Temperaturerniedrigung geschwächt. Durch Steigerung der Menge, sowohl der Kieselerde als der Borsäure, wird sie schnell und bleibend vermindert. Das Glas A wurde zuletzt bei sorgfältiger Befolgung aller zur Entfernung von Unreinigkeiten dienenden Vorsichtsregeln von so schwacher Farbe erhalten, daß weißes Papier, welches man bei offenem Tageslichte durch ein 9 Zoll dickes Stück betrachtete, in Ton und Tiefe der Farbe der Oberfläche einer Citrone glich. Glas, welches aus 1 Atom = 112 Theilen Bleioxyd, 1 Atom = 16 Theilen Kieselerde und $1\frac{1}{2}$ Atom = 36 Theilen Borarsäure bestand, gab, auf gleiche Weise untersucht, bei einer Dicke von 7 Zoll nur die blasse Farbe des Stangenschwefels. (Glas aus 3 Atomen Borarsäure und 1 Atom Bleioxyd ist fast so farblos als gutes Flintglas, möchte jedoch in anderer Beziehung nicht tadelfrei sein.) Übrigens ist die Farbe des schon bis jetzt erhaltenen Glases nicht tiefer als die des Crownglases, welches man gewöhnlich zu Fernröhren anwendet, und welches durch seine Farbe keine bedeutende Menge Licht absorbirt, und bei Hindurchsehen durch gleiche Platten aus dem schweren Glase und aus Crownglas findet man sogar, daß letzteres viel mehr Licht verschluckt. Der Verfasser hofft die Färbung, die solchergestalt schon jetzt der Anwendung zu Fernröhren nicht hinderlich ist, künftig noch ganz beseitigen zu können.

Reflexionsvermögen. Das, für die Anwendung zu Fernröhren so beeinträchtigende, Reflexionsvermögen ist bei allen schweren Glassorten

sehr stark, weit stärker als beim Flintglase, und nimmt mit dem Bleigehalte zu. Den Lichtverlust in Folge der Reflexion an beiden Seiten einer Platte aus schwerem Glase hält Faraday für größer als den, welcher aus der vereinten Wirkung der Farbe und der Blasen in einem Glasstücke von 7 Zoll Dicke entspringt. (Vgl. die Tabelle über das Reflexionsvermögen verschiedener Glassorten S. 190).

Härte. In dieser Eigenschaft weichen die schweren Gläser, je nach dem Verhältnisse ihrer Bestandtheile, sehr stark von einander ab. Das einfach boraxsaure Bleioxyd (das Glas B) ist sehr weich, das doppelt boraxsaure ist härter und das dreifach boraxsaure kommt in der Härte dem Flintglase gleich. Das Glas A ist weicher als Flintglas, allein das Glas, welches aus 1 Atom Bleioxyd, 1 Atom Kieselerde und $1\frac{1}{2}$ Atom Boraxsäure besteht, ist so hart als gewöhnliches Flintglas und besitzt auch Schmelzbarkeit, Farbe und alle übrigen Eigenschaften in einem sehr schätzbaren Grade.

Schmelzbarkeit. Diese Eigenschaft, welche bis zu gewissem Grade unterhalten werden muß, um die Streifen und Blasen fortschaffen zu können, nimmt mit Verringerung des Bleioxydes ab. Das Glas B ist so leicht schmelzbar, daß es unter siedendem Öle weich wird; das Glas A ist völlig schmelzbar genug, um noch die zur Entfernung der Streifen und Blasen nöthigen Operationen zu gestatten.

Faraday bemerkt hiebei, daß man die Schmelzbarkeit dieser Gläser, so wie überhaupt eines jeden Glases, nicht mit der Neigung eines Glases, in höherer Temperatur zu erweichen, verwechseln dürfe. Nicht das Glas nämlich, was zuerst weich wird, schmilzt auch zuerst bei einer gegebenen Hitze. Oft begegnete es Faraday, wenn er verschiedene Glascompositionen neben einander in Platinschalen erhitzte, daß diejenige, welche zuerst erweichte, bei stärkerer Erhitzung nicht so flüssig wurde, wie andere, welche der ersten Einwirkung der Hitze länger widerstanden. Es fand sich auch immer, daß diejenigen Gläser, welche bei Erhitzung langsam aus dem starren in den flüssigen Zustand übergingen, am wenigsten geneigt waren, bei dem Processe des Abkühlens eine krystallinische Structur anzunehmen.

Haltbarkeit. Zwar laufen die schweren Gläser schnell an und viel stärker als Flintglas, wenn man sie in eine mit Schwefelwasserstoff versetzte Atmosphäre bringt, doch zeigte sich kein solches Anlaufen, als sie längere Zeit hindurch ohne besondere Vorsichtsmaßregeln an der atmosphärischen Luft verwahrt wurden. Übrigens schlägt Faraday vor, um jedenfalls das Anlaufen in Fernröhren zu verhüten, Bleiweiß, gefälltes boraxsaures Bleioxyd oder fein geriebene Bleiglätte, Substanzen, welche sich eignen, schwefelwasserstoffsaure Dämpfe zu binden, mit dem Pigment zu vermischen, mit dem man gewöhnlich die Innenseite des Fernrohres zur Abhaltung fremden Lichtes schwärzt.

Elektricität. Die schweren Gläser isoliren, wahrscheinlich weil sie wegen Abwesenheit von Alkali nicht geneigt sind, mit hygroskopischer Feuch-

tigkeit zu beschlagen, ohne Vergleich besser als die gewöhnlichen Gläser, so gut als Siegellack oder Gummilack, auch nehmen sie sehr leicht schon durch schwaches Reiben mit Flanell oder Seide starke Elektricität an, und behalten sie lange.

Aplanatische Lupen und Feldstecher, von Plößl in Wien.

In Baumg. Zeitschr. VIII. 189 werden diese Apparate, vom Opticus Plößl in Wien verfertigt, als „von einer früher nirgends erreichten Vollkommenheit" der Aufmerksamkeit des Publicums anempfohlen und ihr Preiscourant beigefügt.

Um dem Übelstande abzuhelfen, welchen sonst selbst die besten Lupen, besonders jene, womit eine größere Fläche übersehen werden soll, darbieten, nämlich nur einen kleinen Theil des Gegenstandes in der Mitte scharf und klar, am Rande aber nur undeutlich und verwaschen zu zeigen, versuchte Plößl eine größere solche Lupe aus zwei passend vereinigten achromatischen Linsen zusammenzusetzen. Der Erfolg übertraf seine Erwartungen, und es sollen diese zusammengesetzten aplanatischen Linsen an gleichförmiger Deutlichkeit und Schärfe alles in dieser Art Vorhandene übertreffen.

Gleichförmig gefärbte optische Gläser, von Lerebour *).

Die gefärbten Augengläser, deren sich Leute, deren Sehorgan sehr empfindlich ist oder die eine Staaroperation erlitten haben, gewöhnlich bedienen, haben bei stärkern Nummern den sehr fühlbaren Nachtheil, daß die Färbung des Glases an den dicken Stellen desselben, also je nachdem sie concav oder convex sind, an den Rändern oder in der Mitte bedeutend stärker als an den dünnen Stellen ist. Lerebour, um diesem Übelstande abzuhelfen, bedeckt eine Platte von gefärbtem Glase mit einer ungefärbten Glasschicht und ändert deren Dicke nach der Beschaffenheit des Gesichts und nach dem Radius der Kugel, auf welcher sie angebracht wird, ab. Er läßt zu diesem Behufe in der Glasfabrik zu Choisy eigends Gläser aus zwei Schichten bereiten, von welchen die eine blau, die andere ungefärbt ist. Die Ausführung dieser Operation erfodert eine große Übung von Seiten des Arbeiters, wenn man eine Glasmasse erhalten will, die aus zwei, vollkommen gleich dicken, Schichten besteht, und die groß genug ist, um daraus einen Glascylinder zu machen, aus welchen man nach der, für das Fensterglas üblichen, Methode eine Glasplatte bilden kann. Dessenungeachtet gelang diese Operation sehr gut, so daß man dem Glase nur auf die gewöhnliche Weise eine gekrümmte Oberfläche zu geben braucht. Man wählt hiezu die reinsten Stücke und polirt und schleift dieselben auf der blauen Oberfläche nach einer Fläche, die genau mit der Linie, die die beiden Schichten von einander trennt, parallel läuft, so daß die blaue Schicht überall gleich dick werde. Hierauf giebt man der entgegengesetzten Fläche

*) Dingler's polyt. J. XLI. 158.

die gehörige Krümmung. Bei den periskopischen Gläsern muß die schwächste Krümmung jene der blauen Glasschicht sein. Wie groß auch immer die Krümmung des Glases sein mag, so wird auf diese Weise die Färbung desselben doch stets an allen Stellen gleich sein. Francoeur hat der Soc. d'encourag. einen sehr günstigen Bericht über diese neue Erfindung Lerebour's abgestattet, welchen man im Bullet. de la soc. d'encourag. 1830. mars. p. 145 findet.

### Object zur Prüfung des Achromatismus.

Als das passendste Object, um den Achromatismus von optischen Gläsern zu prüfen, empfiehlt Goring *) ein kleines Quecksilberkügelchen auf einem vollkommen schwarzen oder nicht polirten Grunde, in welchem man ein Licht, oder die Sonne oder auch bloß das Fenster sich abspiegeln läßt. Man betrachtet dies mittelst des zu prüfenden Glases, innerhalb und außerhalb des Focus, und sieht zu, ob es dabei Farben zeigt.

### Anwendung verschiedener Stoffe statt Glas zu Linsen für Mikroskope **).

Eine wesentliche Verbesserung mikroskopischer Linsen läßt sich dadurch erwarten, daß man statt des Glases ein ganz anderes Material für sie wählt. Das gemeine Glas hat ein für seine Dichtigkeit geringes sowohl Brechungs- als Zerstreuungsvermögen. Durch Zusatz von Bleioxyd nehmen beide, wenn auch nicht in gleichem, doch immer in fortschreitendem Verhältniß zu, und die Vortheile, welche die stärkere Brechung dadurch gewährt, wird großentheils durch die Undeutlichkeit, die aus den vermehrten Farbensäumen entspringt, wieder aufgehoben. Mehrere Mineralien hingegen sind vom Zusammentreffen beider Eigenschaften bis zu einem gewissen Grade frei. Die meisten Edelsteine gehören in diese Klasse und ihre Bearbeitung zu optischen Zwecken verdient daher die höchste Aufmerksamkeit. Die vorzüglichsten sind nachstehende:

| | Brechungsindex. | Zerstreuende Kraft. |
|---|---|---|
| Diamant | 2,470 | 0,38 |
| Sapphir | 1,780 | 0,26 |
| Rubin | 1,779 | 0,26 |
| Granat | 1,815 | 0,33 |

Hiebei mögen zu einiger Vergleichung noch folgende stehen

| | Brechungsindex. | Zerstreuende Kraft. |
|---|---|---|
| Flußspath | 1,436 | 0,22 |
| Bernstein | 1,552 | 0,41 |
| Bergkrystall | 1,562 | 0,26 |
| Tafelglas | 1,525 | 0,55 |

*) Brewster's Edinb. phil. J. 1831. Jul. 65.

**) Schweigg. J. LX. 67 (Zusammenstellung von Mayr).

Von diesen letzteren möchte der Flußspath, obgleich seine Farbenzerstreuung beinahe die geringste von allen mineralischen Substanzen ist, wegen seiner schwachen Brechung des Lichtes, nicht zu optischen Zwecken dienen. Bei dem Bernsteine würde umgekehrt die starke Zerstreuung hinderlich sein, wenn man auch ziemlich wasserhelle Stücke anwendete. Der Bergkrystall, obgleich nicht sehr vom Glase verschieden, scheint dagegen, wenn auch nicht zu sehr kleinen Linsen, doch zu größeren Objectiven zu empfehlen *). Die vier ersteren indeß sind zu mikroskopischen Linsen ganz besonders tauglich und geeignet, und mit ihrer Verarbeitung haben sich in der neuesten Zeit mehrere englische Künstler beschäftigt.

Am eifrigsten und glücklichsten hierin ist Pritchard gewesen, dessen Linsen von Sapphir und besonders von Diamant sich einen großen Ruhm erworben haben. Er brachte es dahin, von beiden Mineralien Linsen bis zu $\frac{1}{100}$ englischen Zoll Brennweite auszuarbeiten, und über ihre hohe, alle anderen weit hinter sich lassende Wirkung, ist nur eine Stimme **). Es ist auch einleuchtend, welch ein großer Vorschritt in die Einsicht der feinsten organischen Gliederung gewonnen ist, wenn es gelingt, einfache Linsen darzustellen, welche an Vergrößerung, Helligkeit, Deutlichkeit und Gesichtsfeld mit den besten zusammengesetzten Mikroskopen wetteifern; denn während wir mit jenen die Gegenstände unmittelbar betrachten, können wir bei diesen nur das von dem Objectiv erzeugte (Luft-) Bild derselben mit dem Augenglas ansehen. Was jedoch einer größern Verbreitung und Anwendung dieser Linsen immer im Wege stehen wird, ist ihr erstaunlich hoher Preis, der für Sapphirlinsen von 2 bis 6 Guineen, für Demantlinsen von 10 bis 12 Guineen steigt. Dieser rührt theils von der Kostbarkeit des Materials her und von den mannichfaltigen verborgenen Fehlern desselben, die oft erst nach vollendeter Arbeit zum Vorschein kommen und sie nutzlos machen ***), theils von der Schwierigkeit der Zubereitung selbst. Über

*) Vergl. hierüber den weiter unten folgenden Artikel über Bergkrystallfernröhre von Cauchoix.

**) Vergl. hierüber Schweigg. XLII. 376 und Brewster in Edinb. J. of sc. Nr. XX. 331. Dieser macht hier auch den Vorschlag, Linsen von Realgar (mit dem Brechungsverhältnisse 2,548), Zinkblende (Br. V. 2,260) und Antimonglas (Br. V. 2,216 für rothe Stralen) zu versuchen und dabei homogenes Licht anzuwenden. Man stellte den Versuch an und erhielt durch Schmelzung in Glasformen recht durchsichtige Linsen von Realgar, aber ihre tief gelbrothe Farbe, verbunden mit ihrer enormen Farbenzerstreuung (= 2,67), vereitelte alle Bemühung sie als mikroskopische Linsen zu gebrauchen. Dazu kömmt noch, daß sie beim Poliren einen besondern Metallschimmer annehmen, der ihre Durchsichtigkeit vermindert.

***) Diese Fehler liegen zum Theil in der Natur aller krystallisirter Körper, indem sie fast immer aus verschiedenen Individuen zusammengesetzt sind, wodurch in der scheinbar gleichförmigen Masse Streifen, Knoten, ab- und einspringende Blätterrichtungen und verschiedene Zustände der Dichtigkeit entstehen; zum Theil in den Verhältnissen der ein- und zweiaxigen Krystalle zum Lichte, wonach bei gewissen Richtungen doppelte Bilder erscheinen, zu deren möglicher Vermeidung

diese spricht sich der vorgenannte Künstler in folgender, lehrreicher Weise aus*). „Ehe man einen Diamanten in die sphärische Form bringt, ist es durchaus nöthig, daß er mit zwei parallelen Seiten flach geschliffen werde, wenn er nicht von Natur schon eine Platte bildet, so daß man durch ihn hindurch sehen und wie ein Stück Flintglas ihn prüfen kann. Ohne diese Vorsicht würde das Schleifen sehr gefährlich sein, denn manche Diamante geben eine doppelte, ja sogar eine Art von dreifacher Refraction und bilden zwei oder drei Bilder von einem Object. Diese Eigenschaft macht sie zum Behufe der Linsen ganz unbrauchbar. Kaum ist zu bemerken, daß sie müssen vom feinsten Wasser ausgesucht und, durch die stärksten Loupen untersucht, frei von allen Blasen, Wolken und Federn erkannt werden. Jene Eigenthümlichkeit der besondern Refraction möchte von verschiedenen Graden der Dichtigkeit oder Härte in demselben Steine herrühren. Die Diamantschneider sind gewohnt männliche und weibliche Steine zu unterscheiden; öfter ist ein Er und eine Sie (d. h. ein harter und ein weicher Stein) in derselben Gemme vereinigt. Wenn ein Diamant, welcher verschiedene Refractionen zeigt, in eine sphärische Figur geschliffen und theilweise polirt worden, so zeigt er unter dem Mikroskop ein besonderes Ansehen von kleinen schillernden Krystallblättchen, die zuweilen nach einer Richtung, zuweilen stralenförmig liegen und die vollständige Politur verhindern. Auch andere Edelsteine sind, ihres krystallinischen Gefüges wegen, ähnlichen Mängeln für optische Absichten unterworfen."

„Hat man nun die Güte eines Steines erprobt, so muß er zum Schleifen vorbereitet werden. In vielen Fällen wird es rathsam sein, die Diamantlinsen planconvex zu machen, sowohl weil diese Figur eine sehr geringe Aberration giebt, als auch weil sie der Mühe überhebt, zwei Seiten zu schleifen. Die flache Seite muß so eben wie möglich polirt werden, ohne Ritze und Risse; zu diesem Zwecke muß der Diamant so gesetzt werden, daß man die Freiheit behält, ihn herumzudrehen, damit er die gehörige Richtung in Bezug auf seine Blätterdurchgänge erhalte. Ist die flache Seite vollendet, so muß die andere Seite gegen einen andern Diamanten gearbeitet und durch Abschaben der Oberfläche in eine kugelartige Form gebracht werden. Sodann hat man eine Hohlschale von Gußeisen nach der verlangten Krümmung auf der Drehbank zu formen, die eine kurze Docke hat, von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, und eine Geschwindigkeit von 60 Umdrehungen in der Secunde. Der Diamant muß nun durch einen sehr harten Kitt aus gleichen Theilen des besten Schellacks und Bimssteinpulvers, die sorgfältig zusammengeschmolzen, ohne anzubrennen, an einen kurzen Griff befestigt und gegen die sich herumdrehende Hohlschale mit den Fin-

die Axe der Linse mit der optischen Krystallaxe zusammenfallen müßte. Selbst der tessularische Diamant zeigt bisweilen diese Structur. (Vgl. Brewster Edinb. phil. Journ. III. 100 und Edinb. Transact. VII. 157.)

*) Edinb. Journ. of sc. new ser. I. 150—153.

gern gehalten werden. Diese Schale muß mit Diamantpulver ausgepflastert sein, das mit einem gehärteten converen Stahlbunzen hineingehämmert werden. Ist die Linse gleichförmig übergeschliffen, so hat man höchst feinen gesiebten Diamantstaub, der sorgfältig in Öl gewaschen, an eine andere Hohlschale von Gußeisen zu bringen. Das feinste gewaschene Pulver muß allmälig nachgesetzt werden, bis die Linse vollkommen polirt ist. Während des Schleifens ist der Stein von Zeit zu Zeit mit einem Vergrößerungsglase zu untersuchen, ob er eine wahrhaft sphärische Form habe; denn zuweilen begegnet es, daß die Ecken sich schneller abschleifen als das Centrum, und daraus entsteht eine conoidische Form, welche die Linse für den optischen Zweck unbrauchbar macht. Die sphärische Abweichung einer Diamantlinse ist, verglichen mit der einer Glaslinse, ganz erstaunlich gering. Diese Verringerung rührt von dem enormen Brechungsvermögen des Edelsteines her, weshalb auch bei sehr flachen Krümmungen doch die Vergrößerung so beträchtlich ist. Die Längenabweichung einer planconveren Diamantlinse ist nur 0,955, während die einer Glaslinse 1,166 ist; beide Zahlen sind in Beziehung auf ihre Dicke genommen und ihre erhabenen Oberflächen den parallelen Stralen zugekehrt. Aber die Undeutlichkeit der Linsen entsteht hauptsächlich daher, daß jeder mathematische Punct von der Oberfläche des Objectes in einen kleinen Kreis ausgebreitet wird; diese Kreise, die sich unter einander vermischen, verursachen ein verworrenes Sehen des Objectes. Nun muß dieser Irrthum in dem Verhältnisse des Flächenraumes dieser kleinen Kreise stehen, und da diese sich wie die Quadrate der Durchmesser verhalten, so wird die Seitenabweichung einer Diamantlinse 0,912 sein, während die einer Glaslinse von gleicher Krümmung 2,775 ist. Aber die vergrößernde Kraft der Diamantlinse verhält sich zu der des Glases wie 8 zu 3; oder in andern Worten, die oberflächliche Vergrößerung eines Objectes mit der erwähnten vollkommenen Diamantlinse ist 225000 Mal, während die einer Glaslinse nur 3136 Mal ist, wenn man 6 Zoll als die Entfernung des deutlichen Sehens annimmt. So wird uns der Diamant in den Stand setzen, eine größere Kraft zu erlangen, als nur irgend durch Glaslinsen möglich ist; denn die Brennweite der kleinsten Glaslinse, die ich vermögend war zu schleifen und zu poliren, ist ungefähr $\frac{1}{80}$ Zoll, während die eines Diamantes, der in denselben Schalen gearbeitet worden, nur $\frac{1}{200}$ Zoll sein würde."

„Wenn wir die Abweichung zweier Linsen von gleicher Kraft zu vergleichen wünschen, so muß die Krümmung des Glases vergrößert werden; und da die Seitenabweichungen (bei gleicher Öffnung und Stellung) im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Halbmesser wachsen, so wird die Abweichung der Diamantlinse nur $\frac{1}{20}$ von der des Glases sein, bei gleicher Dicke; da aber die Krümmung des Diamantes geringer ist, so kann seine Dicke sehr vermindert werden. Da die chromatische Dispersion des Diamantes fast so gering wie die des Wassers ist, so kann ihr Einfluß bei kleinen Linsen von dem Auge kaum bemerkt werden, sogar bei Untersuchung

der merkwürdigen Klasse mikroskopischer Objecte, welche, um nur sichtbar gemacht zu werden, enorme Winkel der Öffnungen verlangen."

Übrigens ist die Bearbeitung des Diamantes so mühsam und umständlich, der Erfolg so unsicher und im ungünstigen Falle der Verlust so bedeutend, daß, aller der aufgezählten Vorzüge ungeachtet, doch Pritchard selbst vorzieht, Linsen aus Sapphir zu verfertigen. Die bläuliche, oft in das Violette spielende, Farbe dieses Steines soll hiebei eher günstig als nachtheilig wirken. Mindestens behauptet Wollaston, daß sich das violette Farbelicht zur Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände am vortheilhaftesten erweise. Der Künstler hat in Verbindung mit Goring die Anwendung der neuen Linsen durch Untersuchung neuer Objecte besonders merkwürdiger Insectenlarven bewährt und mit meisterhaft gezeichneten und colorirten Abbildungen derselben belegt. (The natural History of several new, popular and diverting living objects for the microscope etc., von Goring und Pritchard. London 1829. I. Einen Auszug daraus in Edinb. J. of sc. XX, 360.)

### Methode, das Vergrößerungsverhältniß bei Mikroskopen zu bestimmen, von Jacquin und Ettingshausen *)

Die Vergrößerung eines Mikroskopes wird bekanntlich in der Regel durch Vergleichung des Bildes im Gesichtsfelde mit dem des direct gesehenen Gegenstandes gefunden. Man legt z. B. einen fein getheilten Mikrometer als Object ein und sieht auf das Bild desselben mit einem Auge, zugleich aber auch mit dem andern auf einen in der Entfernung von 8 Zoll befindlichen Maßstab, so daß man auf diesem die Projection des Bildes wahrnimmt. So vielmal die wirkliche Größe des Gegenstandes in dem Stücke des Maßstabes enthalten ist, welches jenes Bild deckt, so groß ist die Vergrößerungszahl.

Diese Methode erfodert einige Übung, gewährt aber auch in den Händen des genauesten Beobachters nicht die Schärfe, welche der nachfolgenden von Jacquin angegebenen, hier nur dem Wesentlichen nach zu beschreibenden, Methode zukommt.

Man stelle (Fig. 48.) das Mikroskop auf eine Basis, an deren Seite sich ein verticales Bret mit einer Linienscale erhebt, und zwar in einer solchen Entfernung vom Mikroskope, welche der deutlichen Sehweite vom Oculare aus gleich gesetzt werden kann, befestige dann über dem Oculare einen kleinen metallenen Planspiegel mit der in der Figur abgebildeten Vorrichtung (das sogenannte Sömmerring'sche Spiegelchen mit seinem Ringe und Stellschrauben), so daß seine spiegelnde Fläche um 45° gegen die Axe des Rohres geneigt und von der Wand, worauf die Scale sich befindet,

*) Jacquin in Baumg. Zeitschr. IV. 1; V. 151. Ettinghausen in Baumg. V. 316. Die obige Darstellung nach den Supplementen zu Baumgartners Physik S. 636.

gerade abgewendet ist. Hierauf lege man einen Glasmikrometer als Object ein, gebe ihm die rechte Entfernung vom Objective, um im Gesichtsfelde ein deutliches Bild zu erhalten, und suche den Spiegel so zu stellen, daß man dieses Bild auf die Scale der verticalen Wand projicirt sieht. Hier wird man leicht angeben können, wie viele Linien ein bekanntes Stück des Mikrometers deckt und wie groß daher die Vergrößerungszahl ist.

Bei dieser Operation wird erfodert, daß die Scale hinreichend deutlich gezeichnet und gehörig beleuchtet sei. Es ist sehr gut, wenn die Zeichnung weiß auf schwarzem Grunde ist und man die Untersuchung Nachts anstellt, wo man mittelst einer Lampe leicht die rechte Beleuchtung trifft. Ferner müssen die Theilstriche des Mikrometers so liegen, daß sie bei der Projection mit den Strichen der Scale parallel werden, und man muß dafür sorgen, daß die Scale dem Oculare gerade gegenüber in derselben Horizontalebene steht. Man soll dabei immer nur die Größe des Bildes in der Nähe der Axe der Röhre zum Vergleichungspuncte nehmen, nicht aber die des dem Rande nahen, weil da ein anderes Vergrößerungsverhältniß herrschen kann, als in der Mitte des Gesichtsfeldes. Messungen, auf solche Weise vorgenommen, haben eine desto größere Schärfe, je geringer die vergrößernde Wirkung des Mikroskopes ist, bei starken Vergrößerungen erscheinen theils die Theilstriche des Mikrometers so dick, daß bei der Bestimmung ihrer Lage stets eine kleine Unsicherheit zurückbleibt, theils ist man gezwungen, Bruchtheile des Abstandes zweier Theilstriche zu schätzen, eine Arbeit, die fast nie fehlerfrei abläuft, indem man wegen zu geringem Gesichtsfelde selbst bei ungemein fein getheilten Mikrometern kaum mehr als ein Intervall auf einmal zu sehen bekommt. Man kann diese Methode zwar durch alle Combinationen der Objective und Oculare eines zusammengesetzten Mikroskopes durchführen, wird aber bei den letzten starken Vergrößerungen nur mit großer Mühe und nicht ohne Anstrengung der Augen zum Ziele gelangen. Man kann sich aber das Geschäft bedeutend erleichtern, indem man so verfährt: Man suche nach der vorhergehenden Methode die Vergrößerungszahlen bei Anwendung jedes Ocularaufsatzes mit einem der schwächeren Objective. Hierauf lege man einen Mikrometer als Object ein, dessen Scale schon bei der kleinsten Vergrößerung das ganze Gesichtsfeld ausfüllt. Steht einem kein solcher Mikrometer zu Gebote, so lege man in das Diaphragma einen Schirm mit einer Öffnung von so geringer Größe, daß sie vom Bilde der Mikrometerscale ganz eingenommen wird. Nun beobachte man mit allen Combinationen der Oculare und Objective die Anzahl der Intervalle des Mikrometers, die auf einmal übersehen werden. Da verhält sich nun die Vergrößerungszahl $m$ bei einer bestimmten Verbindung eines Oculares mit einem Objective, zur Zahl $m_1$ bei einer andern Verbindung, wie die Anzahl Intervalle $n_1$ des in letztem auf einmal übersehenen Mikrometerstückes zur Anzahl dieser Intervalle $n$ im ersten Falle, oder man hat

$$m : m_1 = n_1 : n \text{ oder } m_1 = m \cdot \frac{n}{n_1}.$$

Da nun n und $n_1$ durch Beobachtung gegeben sind, und m aus der Bestimmung mittelst der vorhergehenden Methode bekannt ist, so läßt sich $m_1$ leicht berechnen. Dieses Verfahren hat zuerst Ettingshausen empfohlen.

Zu allen diesen Untersuchungen braucht man Mikrometer, von deren richtigen Theilung man vor ihrer Anwendung gehörig überzeugt sein muß. Besitzt man ein Mikroskop mit einem Schraubenmikrometer, so kann man sich diese Überzeugung leicht verschaffen, indem man den Mikrometer nur als Object einzusetzen, und den Abstand je zweier Theilstriche mit Aufmerksamkeit und wiederholt zu messen braucht.

Man kann auch zum Ziele gelangen, wenn man die Öffnung des Diaphragma eines Mikroskopes hinreichend verengt, den Mikrometer als Object einsetzt, und, indem man verschiedene Theile desselben durch das Gesichtsfeld führt, beobachtet, ob immer gleich viele Längenstücke des Mikrometers auf einmal gesehen werden.

## Spiegelmikroskope *).

In neueren Zeiten pflegt man häufig Spiegelmikroskope anzuwenden, welche die Vortheile gewähren, daß das Bild, welches die Spiegel entwerfen, von der chromatischen Abweichung ganz frei ist, und von der sphärischen durch eine geschickte Behandlung und Krümmung der Spiegel großentheils befreit werden kann.

Eine einfache Vorstellung eines solchen Mikroscopes gewährt Fig. 50., wo DC einen von Innen und Außen polirten und bei HI durchbrochenen metallischen Planspiegel, AB einen Hohlspiegel bezeichnet. Die Stralen von dem nahen Objecte G (das von der Außenseite DC und noch vermittelst einer Glaslinse beleuchtet wird) werden von dem Hohlspiegel AB nach (dem innern) DC und von da nach g und in die Ocularröhre EF reflectirt, von wo sie in das Auge O gelangen. Die große Lichtmenge, welche von den Spiegeln aufgenommen wird, bewirkt, trotz des Verlustes, der durch die Öffnung HI entsteht, ein klares, und wenn der Spiegel AB eine elliptische Krümmung hat, von beiderlei Aberration freies Bild, dessen Vergrößerung nach Belieben durch die Oculareinsätze erlangt werden kann. Die Helligkeit und Deutlichkeit der Bilder ist hier ungemein groß und wird nicht bemerkbar gestört durch den eigenthümlichen Lichtschimmer, der von der Metallreflexion herrührt. Auch die horizontale Stellung ist ein bedeutender, dem Auge wie dem Körper zu Gute kommender Vortheil.

Die neueren Spiegelmikroskope verdanken ihre Vervollkommnung fast einzig den Bemühungen des Italieners Amici **), dessen Construction, der auch die englischen Instrumente dieser Art meist nachgebildet sind, folgende ist:

*) Marx in Schweigg. J. LX. 179.
**) Der übrigens neuerdings auch ein dioptrisches Mikroskop eingerichtet hat, das nachher beschrieben wird.

Sie ist ihrem Wesen nach das Umgekehrte von der Einrichtung des Newton'schen Spiegelteleskopes. Die von dem (durch Spiegel und Linse vollkommen erleuchteten) Gegenstande ausgehenden Lichtstralen bringen durch die unten angebrachte Öffnung einer 12" langen horizontalen Röhre, treffen da auf einen (durch den Durchschnitt eines Cylinders von $\frac{5}{10}$" Durchmesser erhaltenen) metallenen Planspiegel, der um 45° gegen die Axe der Röhre geneigt und durch eine Schraube höher und tiefer zu stellen ist. Von da fallen sie auf einen Hohlspiegel von $1\frac{1}{10}$" Öffnung und von elliptischer Form, so daß von seinen zwei Brennpuncten der eine $2\frac{6}{10}$, der andere 12" von seiner Mitte entfernt ist. Von hier aus gehen die Stralen in die Ocularröhre und zum Auge. Da vorausgesetzt wird, daß die von einem Puncte des Objectes ausgehenden Stralen wieder in einen Punct zusammentreffen, so muß das Object eigentlich in dem Einen Brennpuncte des zweiten Spiegels stehen, und da der Mittelpunct des Planspiegels von dem des Hohlspiegels $\frac{5}{10}$" entfernt ist, so kann das Object sich noch um $\frac{1}{2}$" von der Röhre entfernt halten, welches für Handhabung und Beleuchtung desselben ungemein günstig ist. Die Wirkung eines solchen Instrumentes ist, ungeachtet des Lichtverlustes, welches der im Gange der Stralen befindliche Planspiegel verursacht, ausnehmend groß, und die Resultate, welche Amici damit erhalten, sind besonders für die Anatomie der Pflanzen von Wichtigkeit geworden.

Dahin gehören seine Untersuchungen über den Bau und die Saftbewegung in der Chara vulgaris, Caulinia fragilis und anderen Pflanzen, die er mit den schönsten und naturgetreuesten Abbildungen erläutert hat *). Diese letzteren erlangte er dadurch, daß er eine eigene Vorrichtung zum Nachzeichnen der vergrößerten Objecte an dem Instrumente anbrachte. Auch von anderen sind schon dergleichen zu solchem Behufe angewandt worden, wie der kleine Sömmerring'sche Spiegel und Wollaston's Camera lucida, die Amici schon früher in einigen Stücken verbessert hatte **). Besonders sinnreich und eigenthümlich aber ist die neueste Methode, die er hiezu angegeben hat.

Wenn in Figur 51. die Röhre des Instrumentes B das Ocular vorstellt, so bezeichnet C ein daran geschobenes Kästchen; D einen aufrechten Planspiegel von rectangulärer Form, der in der Mitte eine Spalte i

*) Seine ersteren schon mehr bekannten Arbeiten (vgl. Gilbert's Ann. XLVI. 258) stehen im 18ten Bande der Memorie della Società Italiana S. 111 ff. Die neueren im 19ten Bande S. 234 — 286, wo er S. 237 in der Anmerkung sagt: „Le figure tutte sono state da me delineate colla camera lucida applicata a Microscopio."

**) Vgl. Ann. de Ch. et de Ph. XXII. 187 und daraus in dem neuen Gehler'schen Wörterb. Bd. II. 29. Auch in dem Edinb. J. of sc. V. 158, wo der Herausgeber bemerkt, daß ihm anstatt der hiebei nöthigen Glasscheibchen mit vollkommen paralleler Oberfläche, natürliche Spaltungsplatten von Topas, und anstatt der kleinen Spiegel, Krystalle von Rothgüldenerz, Zinkblende, Zinnstein oder Eisenglanz, gute Dienste geleistet.

(z. B. von weggenommener Belegung) etwas kleiner als die Öffnung der Pupille, hat; E die Fassung eines vor dem Spiegel befindlichen rechtwinkeligen, gleichschenkeligen Glasprismas. Befindet sich nun unterhalb desselben die Hand des Beobachters mit einem Zeichenstift, so dringen die Stralen davon durch die untere Seite gh des Prisma's ein, werden von seiner Hypotenuse fg nach fh reflectirt, wo sie heraustreten und in den Planspiegel gelangen. Wenn also das Auge bei i steht, so wird es mit einem Theile seiner Sehöffnung durch die Spalte das Bild des vergrößerten Objectes, zugleich aber auch mit dem andern durch den Planspiegel das (aufrechte) Bild der Hand in das Bild projicirt sehen, und daher jenes vermittelst des Zeichenstiftes auf einem horizontal liegenden Papiere leicht entworfen werden können. Nach einiger Übung wird man dazu gelangen, mit dieser Vorrichtung umzugehen und sie den jedesmaligen Umständen anzupassen, wie dies Marx, von welchem diese Beschreibung entlehnt ist, nach eigener Erfahrung versichert.

Marx macht indeß doch die Bemerkung hiebei, daß diese, sowie jede ähnliche Methode bei allen Vorzügen, die sie besitzt, für das Gesicht anstrengend und ermüdend, und eine einfachere und leichtere Methode noch wünschenswerth sei. In diesem Bezuge macht er folgenden Vorschlag, über dessen nähere Ausführung er künftig Mehreres mitzutheilen verspricht.

Das was zunächst verlangt wird, ist, eine Nachbildung des Objectes zu geben, wie es sich vergrößert im Brennpuncte des Oculars darstellt. Können wir also dieses Luftbild unmittelbar umzeichnen und projiciren, so wird daraus die vollkommenste Zeichnung hervorgehen. Wie ist aber dieses zu bewerkstelligen? Man mache in der Ocularröhre in der Ebene des Brennpunctes oder Bildes einen Einschnitt und bringe hier eine äußerst feine Spitze an, die von Außen mit einer Vorrichtung zusammenhängt, welche nach Art eines Storchschnabels construirt ist. Während man nun durch das (horizontal oder vertical stehende) Mikroskop sieht, erblickt man auch die feine Spitze am Orte des Bildes, und diese wird an den Umrissen des Gegenstandes sich stetig herumbewegen, indem die Hand mit dem äußern Stifte des Storchschnabels auf der Zeichentafel hin und her geführt wird. Diese Methode vereinigt, nach Marx, die größte Sicherheit mit der größesten Leichtigkeit.

### Von Merz verbessertes aplanatisches Mikroskop aus dem optischen Institute von Utzschneider und Fraunhofer, beschrieben von Döllinger *).

Die bisher in dem optischen Institute von Utzschneider und Fraunhofer verfertigten zusammengesetzten Mikroskope entsprechen den beiden Erfordernissen, die Gegenstände hinlänglich zu beleuchten und die Ränder, sowie die dunklern und hellern Stellen der durchscheinenden Objecte in voller

*) Pogg. XVII. 84.

Schärfe und Klarheit nach der bestimmtesten Begränzung wahrnehmen zu lassen, auf eine wahrhaft bewundernswerthe Weise. Die herrlichen achromatischen Objective dieser Instrumente lassen vermöge ihrer weiten Öffnungen eine solche Masse ungetrübten Lichtes zum Auge des Beobachters gelangen, daß man in dem Mikroskop mehr Helle als außer ihm anzutreffen glaubt; auf der andern Seite verhindert die Reinheit der Glasmassen und die Genauigkeit der Bearbeitung jede Zerstreuung der Stralen, und alle Umrisse können sich auf das Bestimmteste und Schärfste umgränzt dem Auge darstellen, um so mehr, als die Einrichtung des Ganzen so getroffen ist, daß die Stärke der Vergrößerung mehr von dem Oculare als von dem Objective abhängig wird, mithin auch keine der achromatischen Linsen eine so starke Convexität zu haben braucht, daß daraus eine die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes merklich störende Abweichung der Lichtstralen entspringen könnte.

Indeß lassen doch die Fraunhofer'schen Mikroskope bei diesen wichtigen Vortheilen die Bemerkungen zu, 1) daß die Vergrößerungen, welche sie bewirken, nicht so stark sind, als es der Naturforscher in manchen Fällen wünschen muß; 2) daß sie nicht alle jene Bequemlichkeiten beim Gebrauche darbieten, die man billig von einem solchen Instrumente fodern kann; Mängel, welchen Hr. Merz, der gegenwärtig das optische Institut an Fraunhofer's Stelle leitet, abzuhelfen gesucht hat.

1) Die kleinen achromatischen Mikroskope des optischen Institutes, welche so eingerichtet sind, daß ihr Kästchen auch zugleich als Gestell dient, vergrößern den Durchmesser höchstens 100 Mal; mit den größeren Instrumenten, welche mit einem höchst genau gearbeiteten Apparate zum Messen des Diameters der Objecte versehen sind, erlangt man als höchste eine Linearvergrößerung von 140 bis 150 Mal, was manchmal nicht hinreichend sein kann, insofern sich nach dem Verfasser annehmen läßt, daß eine Vergrößerung des Durchmessers von 250 Mal die Gränze ist, bis wohin sich die Möglichkeit, etwas Neues an irgend einem Gegenstande, der zu einer solchen Vergrößerung geeignet ist, durch das Mikroskop zu sehen, erstreckt. Behufs der Verstärkung der Vergrößerungen nun verfertigt Herr Merz ein achromatisches Objectiv von nicht ganz ¼ Zoll Brennweite, welches den bisher den Fraunhofer'schen Mikroskopen beigegebenen Objectiven, deren letztes ⅔ Zoll Brennweite hat, als Nr. 5, hinzugefügt wird, und dann wird die Fassung dieser Objective so eingerichtet, daß man ihrer mehrere an einander schrauben und so combinirt als ein einzelnes Objectiv gebrauchen kann, was für die Stärke der Vergrößerung sowohl, als Deutlichkeit und Schärfe des Bildes große Vortheile gewährt.

2) Wiewohl die verticale Lage des Körpers der zusammengesetzten Mikroskope mehrfachen Vortheil gewährt, so ist es doch namentlich für den, welcher die vergrößerten Objecte zeichnen will, wichtig, die Objecte auch durch horizontales Hineinsehen erblicken zu können. Um nun das Hinein-

hen sowohl in verticaler als horizontaler Richtung bewerkstelligen zu können, hat Merz folgende Vorrichtung getroffen:

Gesetzt, man wollte das Hineinsehen in horizontaler Richtung bewerkstelligen, so wird auf der obern Mündung der verticalen Röhre E, an deren unterm Ende sich das Objectiv befindet (Fig. 49.), ein Reflexionsprisma D angebracht, welches genau so gestellt ist, daß es unter einem rechten Winkel das vom Objecte empfangene Bild reflectirt. Die so reflectirten Lichtstralen gelangen nun durch eine zweite Röhre C, welche an dem Hälter des Prisma in horizontaler Lage mit dem hintern Ende angeschraubt wird, auf den Brennpunct des, am vordern Ende von C befestigten, Oculars. Wie man sieht besteht solchergestalt der Körper des Instrumentes aus zwei rechtwinklich auf einander gerichteten Theilen, zwischen denen das Reflexionsprisma angebracht ist. — Um dasselbe Instrument zum verticalen Hineinsehen einzurichten, hat man nur nöthig, entweder unmittelbar das Ocular auf die verticale, verhältnißmäßig kurze, Röhre E aufzusetzen, wodurch eher an Lichtstärke gewonnen wird, ungeachtet die Vergrößerungen hiebei verhältnißmäßig weniger stark sein können; oder auch die Röhre C, mit Weglassung des Reflexionsprisma's, auf E in derselben verticalen Richtung aufzuschrauben, womit zwar die Vergrößerungen viel an Stärke gewinnen, doch aber auch, weil sich auf dem kürzern Wege das Licht mehr zerstreuen kann, die Lichtstärke ein wenig leidet. Durch die Einsetzung des Reflexionsprismas wird freilich der Körper des Instrumentes noch mehr verlängert, und hiedurch, oder wohl durch das Prisma selbst, welches sich nicht absolut vollkommen darstellen läßt, wird eine Lichtzerstreuung hervorgebracht, die bei feiner Beobachtung leicht beeinträchtigend sein kann. Indeß, bemerkt der Verfasser, ist der Naturforscher einmal mit seinem Gegenstande durch den einfachern und damit sicherern Apparat bekannt und vertraut geworden, so wird er sich durch die kleinen Mängel, welche von der Complication seines Instrumentes unzertrennlich sind, nicht stören lassen, und die ihm vielleicht etwas unklar vorschwebenden Bilder bald zu deuten verstehen.

Um dem Beobachter auch ferner alle jene Bequemlichkeiten zu verschaffen, welche er beim Anbringen, Richten und Beleuchten der verschiedenen Objecte wünschen kann, ist der Objectenträger so eingerichtet, daß man Festes und Flüssiges sicher stellen, alle Arten Schieber anbringen, von vorne und zur Seite einschieben und richten mag; ein hinlänglich großer Hohl- und Planspiegel und ein reines convexes Glas bewirken, jene bei durchscheinenden, dieses bei undurchsichtigen Objecten, deren Beleuchtung von unten und oben, und sind selbst in jeder Hinsicht leicht beweglich. Sowohl der Objectenträger, als auch die Röhre können plötzlich verschoben und in jeder Lage, welche ihnen gegen einander gegeben wird, leicht wieder befestigt werden, babei ist der Objectentisch noch insbesondere durch die an ihm angebrachte Mikrometerschraube aufs Leiseste bewegbar.

Das Instrument läßt mit demselben Objective eine Reihe Vergröße-

einigen in steigender und sinkender Proportion zu, denn außerdem, daß es dem Beobachter frei steht, sich des kürzern oder verlängerten Tubus zu bedienen, so sind auch mehrere Oculare von verschiedener Stärke beigegeben, wodurch es möglich wird, für denselben Gegenstand bei demselben Objective vielerlei Grade der Vergrößerung hervorzubringen, ohne daß eine andere Bewegung nothwendig wird, als jene zarte des Objectentisches, welche mit der Mikrometerschraube gegeben wird.

Eine besondere Vorrichtung an dem Instrumente erlaubt, die Beleuchtung, wo es nöthig ist, in erfoderlichem Maße zu mäßigen und auf den passenden Grad zu bringen. Es ist nämlich eine geschwärzte, in der Mitte mit einer kleinen Öffnung versehene, Platte so angebracht, daß sie zwischen dem Spiegel und dem Object nach Belieben eingefügt werden kann; ist sie zwischen den Spiegel und den Objectenträger gestellt, so fällt auf das Object nur so viel Licht, als die kleine Öffnung, womit sie durchbohrt ist, durchläßt; nun kann die Platte mit ihrer Öffnung leicht verschoben, dem Objecte genähert und von ihm entfernt werden. Ist die Platte möglichst nahe an dem Objecte, so ist sie, da die Öffnung in ihr ein wenig größer ist, als das ausgebreitetste Sehfeld, ohne besondere Wirkung, und hemmt den Gang des Lichtes, so viel als der Spiegel sendet, nur insofern, als sie das unnützer Weise reflectirte Licht abhält. In dem Maße aber, als die Platte vom Objecte entfernt, und dem Spiegel nahe gebracht wird, wirkt sie verdunkelnd, indem sie immer mehr die Wirkung des Spiegels beengt. Da der Beobachter während der Beobachtung des Gegenstandes die Platte in Bewegung setzen kann, so hat er es ganz in seiner Gewalt, nicht allein Versuche zu machen, um die beste Beleuchtung für sein Objectiv zu finden, sondern er kann auch jedesmal jene Beleuchtung erhalten, wie sie der Witterung, der Lage des Himmels, der Tageszeit ꝛc. entspricht.

Das ganze Instrument ist in der Gestalt, wie es zum Hineinsehen in horizontaler Richtung dienen soll, abgebildet in Pogg. Ann. XVII. Taf. I. Fig. 8. und die Beschreibung der einzelnen Theile gegeben ebend. S. 69.

### Einrichtung des Mikroskopes von Amici in Modena, nebst Bemerkungen darüber, von Jacquin *).

Dies Mikroskop (1829 verfertigt) weicht in seiner Einrichtung von den früheren desselben Meisters bedeutend ab; denn es ist ein dioptrisches Instrument, während die ersteren (vergl. S. 186) eine katadioptrische Einrichtung haben.

Es besteht aus 5 Ocularen und 5 Objectiven. Von den Ocularen sind die drei schwächeren mit einem Ramsden'schen Collectivglase versehen; das vierte ist eine Doppellinse ohne Collectivglas, und das fünfte, einfach, eben-

*) Eine ausführlichere Beschreibung nebst Abbildung dieses Instrumentes kann man finden in Dingler's polyt. J. XXXII. Heft 4., oder Quat. J. of sc. 1829. April to June. 270. Auch in Baumg. Z. VI. Taf. I. Fig. 8. ist eine Abbildung des Instrumentes mit einer kurzen Beschreibung ebend. S. 92 gegeben.

falls ohne Collectivglas. Die drei Objective sind achromatisch und zum übereinanderschrauben, nach Sellig ue's Methode, eingerichtet.

Um das Instrument in eine horizontale Stellung zu bringen, befindet sich, analog wie bei der Merz'schen Einrichtung der Fraunhofer'schen Mikroskope, in dem Rohre am vordern Ende ein Prisma, von welchem das durch den vertical stehenden Objectivapparat entstehende vergrößerte Bild des Objectes rechtwinklich durch das Collectivglas auf drei Blenden reflectirt wird, um mit der Ocularlinse besehen zu werden. Um das bei dieser Stellung des Instrumentes lästig werdende, in das Auge fallende Tages- oder Lampenlicht abzuhalten, wird eine 4 Zoll im Durchmesser haltende, schwarze Scheibe von Pappe vor das Ocular gesteckt.

Von den drei Objectiven können die zwei schwächeren auch einzeln oder in Verbindung gebraucht werden, besonders für opake Objecte. Doch muß der Objectivlinse Nr. 1 die vorhandene Blende vorgeschraubt werden, um mehr Schärfe am Rande des Sehfeldes zu erzielen. Diese Linse Nr. 1 giebt mit dem schwächsten Oculare schon eine Vergrößerung von 50 Mal linear, und die für Naturforscher oft sehr wünschenswerthen schwächeren Vergrößerungen von 18 — 20 Mal linear fehlen an diesem Instrumente. Die Objectivlinse Nr. 2 ist, einzeln gebraucht, nicht scharf, und die Linse Nr. 3 gar nicht zu benutzen, eben so wenig die Verbindung von 2 mit 3. Die Vergrößerungen derselben sind daher auch vom Hrn. Professor Amici nicht angegeben worden. Selbst die durch die Verbindung der Linsen 1 und 2 hervorgebrachten Bilder sind nicht von ausgezeichneter Schärfe. Dagegen ist aber die Verbindung aller drei Objectivlinsen von hoher Vollkommenheit, und giebt mit den Ocularen I., II., III., also bei Vergrößerungen von 188 — 800 Mal linear, unübertrefflich scharfe Bilder. Die Vergrößerung mit dem Ocular IV., von 600 Mal linear, ist schon weniger scharf, jene mit dem Ocular V., von 1700 Mal linear aber schon so undeutlich und dunkel, daß man sie wohl für den Naturforscher als unbrauchbar und überflüssig erklären muß.

Die vom Professor Amici selbst angegebenen Vergrößerungen sind, nach einer Messung mit seiner Camera lucida, bei der angewöhnlichen Sehweite von 18 Zoll 11 Linien Pariser Maß, also mehr als 14 Zoll Wiener Maß, nämlich der zufälligen Höhe des Mikroskopes vom Tische, angegeben. Sie fallen daher sehr hoch aus. Jacquin hat deshalb die Vergrößerungen nach der von ihm angegebenen Methode (S. 183), mittelst des Sömmerring'schen Spiegelchens (Gilb. LXI, 102), bei einer Sehweite von 8 Zoll Wiener Maß oder 0,21 Meter, aufs Neue sorgfältig bestimmt und folgendermaßen befunden.

| Objectiv. | Ocular. | Vergrößerung | |
|---|---|---|---|
| | | Linear. | Fläche. |
| 1 | I. | 50 | 2500 |
| — | II. | 90 | 8100 |
| 1 + 2 | I. | 120 | 14400 |
| — | II. | 160 | 25600 |
| — | III. | 200 | 40000 |
| 1 + 2 + 3 | I. | 233 | 17689 |
| — | II. | 250 | 62500 |
| — | III. | 300 | 90000 |
| — | IV. | 600 | 360000 |
| — | V. | 1700 | 2890000 |

Zur Beleuchtung durchsichtiger Objecte ist ein gewöhnlicher gläserner, concaver Reflexionsspiegel von bedeutenderer Größe, bei 4" im Durchmesser, vorhanden. Außerdem eine bewegliche conische Blende mit mehreren runden Öffnungen von verschiedener Größe, welche überdies nach Willkür noch mit einem mattgeschliffenen Glase geschlossen werden können. Sie dienen, um das von dem großen Spiegel reflectirte zu grelle Licht nach Befinden zu mildern. Auch ist zu demselben Zwecke noch besonders eine mattgeschliffene Glastafel vorhanden, um solche unter das Object auf dem Objecttische zu schieben.

Um opake Objecte zu besehen, können bei diesem Mikroskope, wie bei allen, schon wegen der Beschaffenheit dieser Objecte selbst, nur die schwächeren Vergrößerungen, nämlich nur die Objectivlinse Nr. 1 und ihre Verbindung mit Nr. 2 mit den drei ersteren Ocularen angewendet werden, und hiezu ist eine halbconvexe Beleuchtungslinse an dem vordern Ende des Rohres angebracht, deren Mechanismus und Wirkung jedoch nach Jacquin's Bemerkung nicht bequem und empfehlenswerth ist, und in beider Hinsicht den von Plößl gewählten Beleuchtungsarten, besonders dem Selligue'schen sphärischen Prisma, weit nachsteht. Diese Unvollkommenheit scheint Amici auch veranlaßt zu haben, die zweite ältere Einrichtung mit dem Lieberkühn'schen Spiegel beizufügen, die aber, so zweckmäßig sie auch bei einfachen ist, bei stärkeren Vergrößerungen zusammengesetzter Mikroskope manche Schwierigkeiten darbietet. Für diese Art von Beleuchtung wird ein eigener, sehr zweckmäßiger Objectträger aus einer Glastafel mit aufgekittetem kleinen schwarzen Glascylinder erforderlich, und ist auch vorhanden.

Unter die vorzüglich sinnreichen Apparate bei Amici's Mikroskopen gehören bekanntlich seine Camerae lucidae, zum Zeichnen der mikroskopischen Objecte. Davon sind auch zwei diesem neuesten Mikroskope beigefügt, aber ohne eine neue Veränderung.

Die mechanische Arbeit an diesem Instrumente beweist nach dem Verfasser die bedeutenden Fortschritte, welche man in diesem Kunstfache in der letztern Zeit auch in Modena gemacht hat, wenn sie gleich dem, was man nunmehr bei uns (in Wien) zu leisten im Stande ist, noch weit nachsteht. Der dabei angebrachte Meßapparat mit Mikrometerschrauben dient besonders als Beleg des Gesagten.

Noch verdienen die beigegebenen Probeobjecte eine sehr rühmliche Erwähnung; indem hier zuerst trocken aufbewahrte, ausnehmend schöne Präparate von Schraubengängen, Treppenwegen und Saftröhren der Pflanzen beigelegt worden sind. Desgleichen sind hier als Probeobjecte die durchsichtigen Schuppen aus dem Flügelstaube der sogenannten Bläulinge, Papilio Argus, Argiolus, Alexis rc. beigefügt, welche, wie Jacquin bemerkt, ein inländisches Probeobject liefern, das, wenn es gleich den bisher von dem surinam'schen P. Menelaus und dem brasilischen P. Anaxibia und Adonis genommenen Schuppen an Zierlichkeit nachsteht, sie dagegen an Feinheit weit übertrifft, und auch als opaker Gegenstand den höchsten Probestein eines Mikroskopes abgiebt. Diese Probeobjecte sind zwischen sehr dünnen Glastafeln befestigt, und der Achromatismus der Objectivlinsen auf die durch die Dicke der Glastafeln bewirkte Aberration berechnet. Daher müssen aber alle kleinen Objecte, die der Naturforscher mit diesem Mikroskope untersuchen will, zwischen solchen Glastafeln, deren zu diesem Behufe drei Paar vorhanden sind, beobachtet werden, wenn die höchste Schärfe erreicht werden soll, was aber doch nicht immer ausführbar ist; daher es z. B. Plößl bei seinen Instrumenten für zweckmäßiger gehalten hat, seine Objectivlinsen in dieser Hinsicht auf unbedeckte und bloßliegende Objecte einzurichten und sich lieber die kleine Unvollkommenheit bei den eingeschlossenen Probeobjecten gefallen zu lassen.

### Sogenanntes Doppelmikroskop, von Wollaston *).

Wollaston schlägt eine doppelte Verbesserung bei dem Mikroskope vor, wovon die eine sich auf den Beleuchtungsapparat bezieht und sich bei jedem Mikroskope anbringen ließe, die andere die Vergrößerungslinse betrifft.

Die erstere beruht auf der Beobachtung, daß alles Licht, welches bei Beleuchtung mikroskopischer Gegenstände, außer dem im vollen Wirkungskreise des Objectives liegenden, gesammelt und in's Auge gebracht wird, mehr dahin strebt, das deutliche Sehen zu schwächen, als es zu verstärken. Darum sucht Wollaston das hinzugelassene Licht in einem Brennpuncte

*) Philos. transact. F. 1829. P. I. p. 9, oder Pogg. XVI. 176, auch kurz in Schweigg. LX. 66 oder Baumg. VIII. 484. — Goring hat, jedoch ohne directe Prüfung der Brauchbarkeit des Wollaston'schen Instrumentes, mehrere Einwürfe gegen die Richtigkeit der Principien, auf die es sich stützt, gemacht, die zu erörtern, hier zu weit führen würde. Man findet sie im Quat. J. Nr. XIV. p. 248 oder Baumg. VIII. 484.

in der Ebene des zu beobachtenden Gegenstandes zu vereinigen. Er fängt es zu diesem Ende auf einem Planspiegel auf und concentrirt es sodann durch eine planconvexe Linse, deren flache Seite dem Objecte zugekehrt ist. Die andere Einrichtung betrifft erwähntermaßen die Vergrößerungslinse, die Wollaston aus zwei planconvexen in paralleler genau centrirter Stellung zusammengesetzt hat (das Umgekehrte des Huyghens'schen astronomischen Oculares, wobei die sphärische, wie die chromatische Aberration am geringsten ist); und die beide in einen solchen Abstand von einander gebracht werden können, daß sie die bestmögliche Wirkung hervorbringen. Am besten fand er das Verhältniß ihrer Brennweite von 3 : 1, und die Entfernung ihrer ebenen Flächen um 1,4 der kürzeren Brennweite.

Folgendes ist die nähere Beschreibung des von Wollaston angewandten Apparates:

Beleuchtungsapparat. TUBE (Fig. 52.) ist eine Röhre von ungefähr 6 Zoll Länge und einem solchen Durchmesser, daß alle Reflexion des fremdartigen Lichtes von den Seiten her verhindert wird, zu welchem Ende es noch sicherer ist, das Rohr inwendig zu schwärzen. Am Ende des Rohres, oder in demselben ein wenig vom Ende, befindet sich eine planconvexe Linse ET, die eine Brennweite von ungefähr $\frac{3}{4}$ Zoll besitzt und mit ihrer flachen Seite dem Gegenstande, der betrachtet werden soll, zugewandt ist. Am Boden ist eine kreisrunde Öffnung A von ungefähr 0,3 Zoll Durchmesser; sie ist bestimmt, das vom Spiegel R reflectirte Licht zu begränzen, welches darauf von der Linse ET $\frac{4}{10}$ Zoll über derselben in deren Brennpunct a vereinigt wird, so daß daselbst, in der Ebene des zu untersuchenden Gegenstandes, ein deutliches Bild von der Öffnung A entsteht. Die Länge der Röhre und die Entfernung der planconvexen Linse von der Öffnung können jedoch etwas abgeändert werden. Die hier gegebene Länge von 6 Zoll wurde für die Höhe des Auges über dem Tische am zweckmäßigsten befunden. Das Bild der Öffnung A darf nicht mehr als 0,05 Zoll im Durchmesser halten, es sei denn, die Vergrößerungen wären schwächer als die hier beabsichtigten.

Die Stärke der Beleuchtung hängt von dem Durchmesser der Beleuchtungslinse, so wie von dem Verhältniß der Öffnung zu deren Bilde ab, und kann demgemäß nach Wunsch des Beobachters abgeändert werden.

Die Linse ET oder die Öffnung A muß eine Vorrichtung haben, vermöge welcher man den Abstand zwischen beiden verändern und das Bild der Öffnung in die Ebene des zu untersuchenden Gegenstandes bringen kann, was vielleicht am zweckmäßigsten dadurch geschieht, daß man beide Röhren in einander schraubt.

Linsenapparat des Mikroskopes selbst. Man sieht bei M (Fig. 52.) einen Apparat, der zwei in einander gesteckten Fingerhüten nicht unähnlich ist, nur daß hier die Hüte cylindrisch sind, und anstatt bloß in einander gesteckt zu werden, in einander eingeschraubt sind. Wo die Spitze des Fingerhutes sein würde, sind die Hütchen durchbohrt, und in die-

sen Öffnungen sind die zwei planconvexen Linsen, mit den ebenen Flächen nach dem Gegenstande zugekehrt, angebracht (wie in der Figur zu sehen), welche das zusammengesetzte Mikroskop bilden und deren Brennweiten ungefähr im Verhältniß von 3 : 1 stehen. Durch Schrauben der Hütchen lassen sich diese Linsen leicht in einen solchen Abstand von einander bringen, daß sie den bestmöglichen Effect gewähren. Zur Bestimmung des Abstandes zwischen den ebenen Flächen der Linsen ist von Wollaston folgende Vorrichtung angebracht worden. Ein Metalldraht abc (Fig. 53.) wird in die Form einer Zwinge gebogen, und an den Enden mit zwei kleinen Glasplatten d, e versehen. Zwischen diese Glasplatten wird, wie es die Figur zeigt, das innere Hütchen oder das, worin die Linse mit längerer Brennweite sitzt, eingeschoben, und dann der Abstand zwischen den äußeren Flächen der Glasplatten mit einem Tasterzirkel gemessen. Dann schraubt man das kleinere Hütchen in das größere, und unterwirft es gemeinschaftlich mit diesem derselben Operation. Die Zunahme des Abstandes zwischen den beiden äußeren Flächen der Glasplatten wird dann offenbar gleich sein dem Abstande zwischen den ebenen Flächen der Linsen.

Eine Unterlage zum Tragen der Gegenstände, versehen mit der nöthigen Seitenbewegung, wird zwischen dem Mikroskop und der Linse ET fix a befestigt. Diese Einstellung zum deutlichen Sehen geschieht mittelst einer Vorrichtung, die an den Träger des zusammengesetzten Mikroskopes angebracht ist.

Zur Vollkommenheit dieses Mikroskopes ist erfoderlich, daß die Axen der Linsen und das Centrum der Öffnung A in einer und derselben geraden Linie liegen. Dies ist der Fall, wenn das Bild der Öffnung in seiner ganzen Ausdehnung erleuchtet und sein Umfang überall gleich gut begränzt ist. Des Nachts kann man sich zur Beleuchtung mit großem Vortheil einer gemeinen Ochsenaugenlaterne bedienen.

Zweckmäßige Anordnungsweise des ganzen Instruments. Das oben beschriebene Instrument kann natürlicherweise in mannichfache Formen gebracht werden. Nachstehende, in Fig. 54. vorgestellte, wird von Wollaston als zweckmäßig empfohlen.

Eine Röhre von hinreichender Länge und Weite bildet den Körper des Instrumentes. Das eine Ende derselben verschließt eine Platte, versehen mit einer Schraube, mittelst welcher die Röhre auf den Deckel des als Fußgestell dienenden Kastens zu diesem Instrumente befestigt werden kann. Oberhalb dieser Platte hat die Röhre, wie durch die punctirte Linie angedeutet ist, einen Ausschnitt, damit Licht auf den kleinen Spiegel falle, welcher an einer durch die Mitte der Röhre gehenden Horizontalaxe befestigt ist. Die Neigung dieses Spiegels kann durch einen, auswendig an der Axe befindlichen Knopf beliebig verändert werden; die übrige Einstellung, senkrecht darauf, geschieht durch Drehen des Kastens dieses Mikroskopes.

Über der Öffnung ist in das Rohr ein conischer Einsatz eingelöthet,

und in diesen wiederum ein kleines cylindrisches Rohr, welches die zuvor erwähnte Blendung trägt, eingeschraubt. Die planconvexe Linse ist in einem federnden Rohre befestigt, welches in dem größern sich verschieben läßt. Die Lage der Linse kann demnach so verändert werden, daß dadurch das Bild der Blendung in die Ebene des zu betrachtenden Gegenstandes kommt. Ein Stück Tafelglas von zwei Quadratzoll, oder weniger, wenn man es für angemessen hält, dient am Ende des Rohres als Unterlage, und hat zwei gegen einander rechtwinkliche Seitenbewegungen. Der Einsatz, in welchem die Vergrößerungsgläser sitzen, kann durch Zahnstange und Triebrad verschoben werden; doch müssen bei dieser Einrichtung die mikroskopischen Linsen sich durchaus genau in der verlängerten Axe der Röhre bewegen. Das Rohr besteht aus zwei in einander geschrobenen Stücken von gleicher Länge, wodurch, wenn sie von einander genommen sind, das ganze Instrument in einen Kasten von ungefähr 4 Quadratzoll eingepackt werden kann.

Vorausgesetzt, daß die planconvexe Linse sich im gehörigen Abstande von der Unterlage befinde, kann man das Bild der Blendung leicht in die Ebene des Gegenstandes bringen. Man befestigt nämlich einen dünnen Draht mit etwas Wachs quer über die Öffnung derselben, beobachtet einen auf die Glasplatte der Unterlage gelegten Gegenstand mit dem Mikroskop, und ändert die Entfernung der Blendung von der Linse mittelst der Schraube an ersterer so lange ab, bis das Bild des Drahtes gleichzeitig mit dem Gegenstande auf der Glasplatte deutlich gesehen wird.

Wollaston erhielt mit einem Apparate dieser Art ausgezeichnete Wirkungen, indem er die feinsten Streifen und Auszackungen auf den Schuppen von Lepisma und Podura, so wie die Schuppen auf einem Rückenflügel mit einem Grade von Deutlichkeit zu erblicken vermochte, den er bei den anderen ihm bekannten Mikroskopen vergebens suchte.

### Aplanatisches Mikroskop (Engyskop), von Goring.

Eine ausführliche Beschreibung dieses Instrumentes mit Abbildung aller seiner einzelnen Theile findet man im Laboratorium, Weimar. Heft XV. Taf. LX. Neuere Angaben darüber von Goring in Brewster's Edinb. J. of sc. 1831. July. p. 72. —

### Vervollkommnung der Mikroskope von Plößl in Wien*).

Bei Vergleichung eines Amici'schen Mikroskopes von neuer Einrichtung mit selbst gefertigten Instrumenten fand Plößl, daß diese bei höheren Vergrößerungen von 300 Mal und darüber an Schärfe bedeutend hinter ersteren zurückblieben, erkannte aber sogleich auch die Ursache und die Wege, welche Amici eingeschlagen, um seinen Zweck zu erreichen. Er fand darin die Bestätigung einer schon früher von ihm selbst gemachten Erfahrung,

*) Baumg. VII. 282.

daß nämlich mehrere Linsen, wovon jede, einzeln gebraucht, die höchste Schärfe zeigt, zusammengefügt kein höchstes Resultat liefern, und umgekehrt; daß man daher darauf Verzicht leisten müsse, eine Linsenreihe zu erhalten, wovon jede einzelne und zugleich jede Zusammensetzung derselben vollkommen sei. Indem er sich nun rastlos längere Zeit hindurch mit der Aufgabe beschäftigte, nicht nur diese höchste Vollkommenheit auch bei seiner stärkern Vergrößerung zu erreichen, sondern auch auf die von Amici weniger berücksichtigten schwächeren Vergrößerungen zu verbreiten, gelang ihm dies in solchem Grade, daß seine neuesten seitdem fertig gewordenen Mikroskope, nach Jacquin's Versicherung, nicht nur in den stärksten Vergrößerungen bis 500 Mal linear den Amici'schen nicht mehr nachstehen, sondern auch durch eigene, abgesonderte Linsenverbindungen die niederen Vergrößerungen mit einer Schärfe geben, die nichts zu wünschen übrig läßt. Auch hat nach Muncke's Versicherung das, während der Heidelberger Versammlung der Naturforscher mit mehreren anderen Instrumenten der vorzüglichsten Künstler Europa's verglichene, für die dasige Universität von Plößl verfertigte, Mikroskop den Vorzug erhalten.

## Fernröhre oder Teleskope.

Zur Geschichte der ersten Teleskope. Über die erste Erfindung der Teleskope hat Moll von Utrecht eine ausführliche Abhandlung bekannt gemacht, welche aus den hinterlassenen Papieren des Prof. V. Swinden zusammengestellt ist. Da die darin enthaltenen Data und Citate zu wenig eines Auszugs fähig sind, so verweisen wir auf die Abhandlung selbst, im Journ. of the royal Instit. 1830. Nr. 2. p. 319.

Zur Geschichte der achromatischen Teleskope*). In dem Annuaire présenté au Roi par le bureau des longitudes findet sich die Angabe, daß das erste achromatische Teleskop 1750 vom Herrn Chester More Hall (Esquire von More Hall in Essex) vollendet und erst acht Jahre später, im Jahre 1758, die Entdeckung von Hrn. Dollond (dem Vater) bekannt gemacht worden sei.

In dem Novemberhefte 1798 des Philos. Journ. (Gentleman's Mag. Oct. 1790) kommt über diesen Gegenstand folgende nähere Notiz von Ramsden vor:

„Der erste Erfinder des achromatischen Teleskopes war Hr. Chester More Hall, Esquire von More Hall in Essex."

Aus seinen Schriften erhellet, daß er seine Arbeiten schon im Jahre 1729 angefangen und nach vielen Versuchen endlich so glücklich war, zwei Sorten von Glas zu finden, welche das erfoderliche Zerstreuungsvermögen für die Lichtstralen in entgegengesetzten Richtungen hatten, um, zu Linsen zusammengesetzt, die Objecte farbenlos zu zeigen.

*) Baumg. VII. 457.

„Ungefähr im Jahre 1733 vollendete er mehrere achromatische Objective (obgleich er sie noch nicht mit diesem Namen belegte), die eine Öffnung von 2½ Zoll im Durchmesser hatten, wiewohl ihre Brennweite nicht über 20 Zoll ging. Eines derselben ist noch gegenwärtig im Besitze des wohlehrwürdigen Herrn Smith in Charlotte-street, Rathbone place (in London), von mehreren ausgezeichneten Kunstverständigen untersucht und darin alle jene Eigenschaften gefunden worden, die unsere neueren achromatischen Linsen besitzen. Herr Hall verwendete mehrere arbeitende Optiker, um seine Gläser zu schleifen, denen er die Radien der Oberflächen angab, die erfoderlich waren, nicht nur das verschiedene Brechungsvermögen für die Lichtstralen, sondern auch die von der sphärischen Gestalt der Linsen herrührenden Abweichungen auszugleichen. Einer dieser Arbeiter, durch die Herr Hall seine Erfindung ausführen ließ, war Herr Baß der Ältere, welcher zu seiner Zeit in der Gegend von Bridewell lebte."

„In dem Rechtsstreite, der in Westminsterhall wegen des Patentes auf achromatische Teleskope geführt worden, wurde Herr Hall zwar unbedingt als erster Erfinder erklärt, aber Lord Mansfield bemerkte, daß der durch ein Patent zu erlangende Gewinn von einer neuen Erfindung nicht Demjenigen gebühre, der seine Erfindung im Schreibepulte verschlossen behält, sondern Jenem, der sie zum Nutzen seiner Mitbürger zuerst verbreitet. Dieser Ausspruch war vielleicht um so gerechter, als Herr Hall ein sehr wohlhabender Gutsbesitzer war, und gar keinen Geldgewinn von seiner Erfindung suchte. Daß Herr Ayscough, Optiker in Ludgate-Hill, schon 1754 ein Teleskop von Herrn Hall besaß, ist auch eine unläugbare Thatsache."

### Mittel, die Vergrößerung mittelst Fernröhren zu messen, von Halz *).

Die mittelst eines Fernrohres zu erhaltende Vergrößerung läßt sich aus dem Winkel abnehmen, welchen die von den Rändern eines Objectes von bekanntem Durchmesser kommenden Stralen mit einander machen, wenn sie durch das Ocular des Fernrohres gegangen sind. Dazu ist die Sonne besonders tauglich. Mißt man den Durchmesser ihres Bildes, welches die Stralen nach ihrem Austritte aus dem Oculare in einer gewissen Entfernung von demselben machen, und theilt ihn durch diese Entfernung, multiplicirt mit der doppelten Tangente des Sonnenhalbmessers, so giebt dieser Quotient die gesuchte Größe an. Setzt man jene Entfernung der Cotangente des Sonnendurchmessers gleich, so giebt der Halbmesser des Sonnenbildes, mit diesem Maße gemessen, den reciproken Werth der Vergrößerungszahl unmittelbar an. Im Jänner müßte jene Entfernung demnach 105, im Juli 109, im April und October 107 betragen; doch wäre es nothwendig, zur Erlangung eines genauen Resultates von obiger Zahl noch

*) Bibl. univ. 1829. May. p. 25 oder Baumg. VI. 463.

den Durchmesser des kleinen Bildes abzuziehen, welches da entsteht, wo man die Entfernung zu messen beginnt. Wäre das Gesichtsfeld zu klein, als daß das ganze Sonnenbild auf ein Mal übersehen werden könnte, so könnte man das bekannte Gesichtsfeld statt des Sonnenbildes wählen; wäre dieses aber nicht bekannt, so müßte man es durch dasselbe Verfahren mittelst der Zeit finden, die ein Sonnenflecken braucht, um central durch das auf einem Schirme aufgefangene Bild zu gehen.

Um die Richtigkeit dieses Verfahrens leichter deutlich machen zu können, sei $\alpha\beta$ (Fig. 55.) das Bild im Fernrohre, von welchem die Stralen unmittelbar auf das Ocular A gelangen, in dessen optischem Mittelpunkte c sich die Hauptstralen schneiden. Stellt nun BC eine auf der optischen Axe des Instrumentes senkrechte Tafel vor, welche in der Entfernung cd vom Oculare die durch letzteres fahrenden Stralen auffängt, so ist ab die Größe des Bildes auf dieser Tafel, acd der Winkel, unter welchem das vergrößerte halbe Bild erscheint. Nennt man diesen Winkel m, den, unter welchem das halbe Bild ohne Instrument erscheint, n, so ist

$$\frac{\text{tang m}}{\text{tang n}} = \mu$$

die Vergrößerungszahl. Man hat daher

$$\text{tang. m} = \mu \text{ tang. n},$$

$$\text{tang. m} = \frac{\frac{1}{2}\text{ ab}}{\text{cd}},$$

mithin

$$\mu = \frac{\text{ab}}{2\text{ . cd . tang n}},$$

welche Formel obiger Regel gemäß ist.

## Bergkrystallfernröhre (Lunettes vitro-crystallines), von Cauchoix *).

Cauchoix hat ein Erfindungspatent auf achromatische Fernröhre genommen, in denen das Crownglas durch Bergkrystall ersetzt ist. Die Vortheile, welche man durch Anwendung dieser Substanz erhält, sind, bei gleicher Deutlichkeit und größerer Helligkeit, welche der Verfasser daran rühmt, insbesondere eine geringere Länge, die man dem Fernrohre geben kann. So, wenn man in den bekannten Dollond'schen Fernröhren von $3\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und 42 Zoll Brennweite, bei denen das Objectiv aus Crown- und Flintglas besteht, das Crownglas durch Bergkrystall ersetzt, kommt die Brennweite auf $28\frac{1}{4}$ Zoll herab; und ersetzt man zugleich das englische Flintglas durch Guinand'sches Flintglas, so kommt die Brennweite auf 25 Zoll herab. Bei terrestrischen Fernröhren läßt sich aber eine noch größere Verkürzung mittelst Anwendung von Bergkrystall erhalten, da man hier,

*) Pogg. XV. 244, oder Baumg. VI. 214 aus den Annales de l'industrie française et étrangère. T. II. p. 34.

um mit Objectiven von kürzerer Brennweite dieselbe Vergrößerung zu erhalten, Oculare von kürzerer Brennweite anwenden muß. Man kann daher, mit Rücksicht auf den Unterschied der Helligkeit, die Größe des Objectives um $\frac{1}{5}$ und die gesammte Länge des Instrumentes auf die Hälfte reduciren, um noch dieselben Wirkungen zu erlangen als mit den gewöhnlichen Instrumenten.

Der Verfasser schließt seine Auseinandersetzung über diesen Gegenstand mit folgender Nachricht:

„Nachdem ich die Vorzüge des Bergkrystalles zur Ersetzung des Crownglases bei mehreren meiner Objective erkannt, habe ich in den letzten drei Monaten Fernröhre der Art verfertigt, von allen Dimensionen, welche der Gebrauch erfodert. Ich kann daher dem Publicum solche Fernröhre anbieten, welche meistens die gewöhnlichen von doppelter Länge ersetzen; wie mehrere Land- und Seeofficiere, denen ich solche geliefert habe, bezeugen können. Ich habe auch an einem Theodolithen ein Fernrohr von 20 Linien Durchmesser und 18 Zoll Länge, durch eins der neuen von gleicher Länge und 30 Linien wirklicher Öffnung ersetzt. Mit diesem Fernröhre sieht man Sterne am Himmel, welche sich mit dem frühern nicht wahrnehmen lassen. Durch Verfolgung dieses Fabricationszweiges hoffe ich bald den Astronomen die größten Fernröhre, welche mit den gegenwärtig in Paris befindlichen Bergkrystallstücken möglich sind, liefern zu können.

Die Vortheile, welche ich hinsichtlich der eigentlichen Fernröhre angegeben habe, kommen auch den Operngucken zu, zu welchen ich ebenfalls Bergkrystall angewandt habe. Die vermehrte Helligkeit, welche daraus erfolgt, wird besonders merklich, wenn die Vergrößerung bis zu einer sieben- oder achtmaligen erhöht ist, wie man sie zum ersten Male bei den Operngucken mit veränderlicher Vergrößerung gesehen hat, die ich im Jahr 1816 der Academie der Wissenschaften überreichte."

## Barlow's achromatisches Refractionsteleskop, mit einer flüssigen Correctionslinse *).

Bei der gewöhnlichen Construction der achromatischen Fernröhre sind bekanntlich die zwei oder drei Linsen, welche das Objectiv ausmachen, in unmittelbare Berührung gebracht. Barlow dagegen, indem er eine flüssige (zwischen Glas eingeschlossene) concave Correctionslinse mit Schwefelkohlenstoff statt einer Flintglaslinse anwandte, sah sich durch das große Dispersionsverhältniß dieser Flüssigkeit in den Stand gesetzt, die flüssige Correctionslinse so weit von der Tafelglaslinse zu entfernen, daß ihr Abstand davon die halbe Brennweite der letztern oder noch etwas mehr beträgt, welches sich ihm nach Versuchen in der That als das günstigste Verhältniß zu erkennen gab **). Man erreicht hiedurch den Vortheil, daß die flüssige

*) Phil. transact. f. 1829. I. p. 33 oder Bull. un. des sc. math. 1830. 178.

**) Wenn $a'$, $a''$, $a'''$ die Brechungsindices für die rothen, grünen und vio-

Linse, welche den schwierigsten Theil der Construction ausmacht, nur halb oder nicht einmal halb so groß wie die Tafelglaslinse zu sein braucht (weil sie nämlich den Stralenkegel, der die convexe Tafelglaslinse zur Basis hat, ungefähr auf der Hälfte seines Weges durchschneidet, wo er mithin entsprechend verengert ist), so daß, mit Ausnahme der Tafelglaslinse, die Verfertigung eines Fernrohres von 10 bis 12 Zoll Öffnung keine größere Schwierigkeit hat, als die eines gewöhnlichen von 5 bis 6 Zoll Öffnung, und, was vielleicht noch wichtiger ist, so besitzt ein Fernrohr dieser Art von 10 bis 12 Fuß Länge gleiche Focalkraft mit einem von 16 oder 20 Fuß. Auch hofft Barlow durch diese Einrichtung eine Beseitigung oder sehr beträchtliche Schwächung des sogenannten secundären Spectrums erlangen zu können.

Die Principien dieser ganzen Einrichtung und einige Versuche darüber sind schon in einem frühern Aufsatze *) genauer entwickelt worden. Neuerdings hat er nach diesen Principien ein größeres Refractionsteleskop wirklich ausgeführt, dessen wesentliche Einrichtung und Leistungen folgende sind:

Die Öffnung desselben ist 7,8 Zoll, d. i. ungefähr 1 Zoll größer als von irgend einem in England eristirenden Refractor. Sein Rohr ist 11 Fuß, und das Rohr des Oculares mit inbegriffen, 12 Fuß lang, seine wirkliche Focalkraft aber 18 Fuß. Die Vergrößerung ist 700fach. Die convexe Glaslinse hat 78 Zoll Brennweite, die flüssige Linse 59,8 Zoll Brennweite. Sie ist in 40 Zoll Entfernung hinter der ersten angebracht. Die Gläser von gleicher Dicke, zwischen weichen die Flüssigkeit eingeschlossen ist **), um die biconvexe Linse zu bilden, haben, das eine 30, das

letten Stralen der vordern Linse; $\alpha'$, $\alpha''$, $\alpha'''$ dieselben für die Concavlinse bedeuten, so findet er für den Fall der Proportionalität der beiden entsprechenden Indices, d. h. für die vollkommene Farblosigkeit des Bildes, wenn f die Brennweite der vordern, d die Entfernung der concaven Linse bezeichnet:

$$d = fa'' \left( \frac{(\alpha'' - \alpha')\,(a''' - a'') + (\alpha''' - \alpha'')\,(a'' - a')}{(\alpha'' - \alpha')\,(a''' - a'')\,a' - (\alpha''' - \alpha'')\,(a'' - a')\,a'''} \right)$$

Im Crownglas ist, nach Fraunhofer, $a' = 0{,}515$; $a'' = 0{,}525$; $a''' = 0{,}535$. Im Flintglas $\alpha' = 0{,}602$; $\alpha'' = 0{,}620$; $\alpha''' = 0{,}640$. Diese Werthe substituirt geben $d = 0{,}734\ f$, eine in diesem Falle unausführbare Entferaung, weil die Zerstreuungskraft des Flintglases nicht groß genug ist, um, wenn so weit entfernt, die vordere Linse zu corrigiren. Wären die letzteren Indices 0,602; 0,621; 0,640 : so würde $d = o$, oder die Linsen müßten sich berühren. Also eine Änderung von 0,001 in dem Inder der grünen Stralen ändert die Entfernungen der Linsen von 0 bis zu fast drei Viertel der Brennweite der vorderen. Deshalb hängt die Bestimmung der zur Vereinigung der drei Farben erfoderlichen Distanz, von der feinsten Bestimmung ihrer Indices ab. Die Ausmittelung derselben für den Schwefelkohlenstoff mit Hülfe eines Prisma's wollte Barlow nicht gelingen, daher er wirkliche Versuche an Instrumenten selbst anstellte.

*) Philos. transact. f. 1828. II. 105 oder Pogg. XIV. 313.

**) Folgende Art, die Flüssigkeit einzuschließen, fand Barlow nach mehreren Versuchen als die zweckmäßigste. Nachdem man durch Probiren den besten

andere, dem Oculare zugekehrte, 144 Zoll Krümmung. Die Flächen der converen Glaslinse anlangend, so hat die eine derselben 56,4 Zoll, die andere 144 Zoll Krümmung. Das Rohr besteht aus 3 Stücken, jedes zu 3 Fuß 8 Zoll Länge, zusammen von 11 Fuß Länge, während das Ocularrohr 1 Fuß lang ist. Die beiden ersten Röhrenstücke sind fest mit einander vereinigt, das dritte wird eingeschraubt und trägt eine kleine Röhre, welche in die erste hineintritt, 3 Fuß 6 Zoll Länge, 5 Zoll Durchmesser hat, in zwei inneren Ringen (colliers) verschiebbar ist und die flüssige Linse trägt.

Das Instrument wird von einem verticalen Fuße getragen, mittelst dessen es sich leicht in ein beliebiges Azimuth und unter beliebige Neigung stellen läßt. Der Festigkeit halber sind dem Fuße starke Dimensionen gegeben; er wiegt ungefähr 400 und das Teleskop 130 Pfund. Dessenungeachtet läßt sich diese große Masse mit größter Leichtigkeit bewegen, so daß man, um einem Stern in seiner Bewegung zu folgen, fast nur so leicht als auf die Tasten eines Pianofortes zu drücken braucht.

Die mit diesem großen Teleskope an Doppelsternen angestellten Beobachtungen haben gezeigt, daß sein Hauptverdienst nicht sowohl darin besteht, diese Sterne zu trennen, als die kleinsten Gestirne sichtbar zu machen. Die Planeten anlangend, so erschien Venus von schön weißer Farbe und gut begränzt bei 120facher Vergrößerung; bei 360facher Vergrößerung aber zeigte ihre Scheibe einige Färbung. Bei der ersten Vergrößerung sind Saturn und sein doppelter Ring vollkommen begränzt; auch sind sie es noch gehörig (bien) bei der zweiten Vergrößerung. Der Mond erscheint von bewundernswürdiger Schönheit, seine Ränder und Flecken sind sehr markirt und man unterscheidet die kleinsten Details (accidens) darin.

Abstand ausgemittelt hat, in welchem die beiden Glasschalen von einander zu bringen sind, befestigt (ajusto) man ihre Ränder in einen gemeinschaftlichen, vollkommen gearbeiteten, Ring und erhöht dann ihre Temperatur über den Punct, den das Teleskop niemals überschreiten wird. Einige Augenblicke darauf füllt man ihren Zwischenraum vollständig mit der, auf dieselbe Temperatur gebrachten, Flüssigkeit an, verschließt unmittelbar darauf die Öffnung und läßt sie erkalten. Die sich hiedurch condensirende Flüssigkeit läßt einen leeren oder vielmehr mit Dunst gefüllten Raum, vermöge dessen der atmosphärische Druck die Theile des Apparates, dessen kreisförmige Ränder mit Serum von Menschenblut zusammengekittet sind, in inniger Berührung erhält. — Marx äußert sich (Schweigg. LVIII. 176) nach Versuchen, die er selbst mit einer flüssigen Concavlinse angestellt, und die in optischer Hinsicht gleichfalls befriedigend ausfielen, scheine ihm doch eine vollkommene Einschließung beinahe unmöglich.

## XI. Über das Sehen und die subjectiven Gesichtserscheinungen.

### Verschiedene, das Sehen betreffende, Umstände.

Dr. Plagge hat physiologische Bemerkungen über das Sehen bekannt gemacht (Hecker's Annal. 1830. August. S. 404), zu deren Charakteristik es hinreichen wird, folgendes Resultat, das er nach vielem Forschen gefunden, mitzutheilen:

. Bei dem Sehen wird gar kein Licht von den äußeren Gegenständen in das Auge hineingeworfen, vielmehr beruht das Sehen darauf: „daß das bläuirte Licht, welches den uns umgebenden Raum erhellt, in das Innere des Auges eindringt, nach physikalischen Gesetzen von der hintern Spiegelfläche des Auges zurückgeworfen wird, und erst dann das Sehen der äußeren Gegenstände bewirkt, wenn dieses aus den Augen zurückgeworfene Licht die äußeren Gegenstände berührt."

Eine Abhandlung, die Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut betreffend, von Dr. Vortual (in Heckers Annalen 1829. Oct. S. 69) kenne ich bloß aus der kurzen Nachricht darüber in Kleinert's Repert. IV. 69. Unter Zerstreuungsbild versteht der Verfasser die Area der Lichterscheinung, welche die, von einem leuchtenden Puncte ausgehenden, Lichtstralen auf der Netzhaut hervorbringen, wenn der Punct näher oder ferner als die jedesmalige Sehweite ist. Als Resultate von des Verfassers Untersuchungen werden folgende angeführt:

1) Durch einen gelinden und gleichmäßigen Druck auf den Augapfel läßt sich nicht selten das Zerstreuungsbild verringern oder selbst völlig vernichten; wovon die Ursache in der durch den Druck bewirkten Abflachung der Hornhaut liegt, wodurch der Convergenzpunct des Lichtkegels der Netzhaut genähert oder bis zum völligen Zusammenfallen mit ihr fortgerückt wird. Durch denselben Handgriff gelingt es nicht selten, entfernte, unklar erscheinende, Gegenstände zur deutlichen Vorstellung zu bringen.

2) Wenn auf der Netzhaut von nahe liegenden Puncten Zerstreuungsbilder entstehen, und sich gleichzeitig nach allen Richtungen hin erweitern, so bedecken sie ihre dunklen Zwischenräume und greifen wie Kreisflächen in einander.

3) Treten Zerstreuungsbilder von heterogenem Lichte in einander, so indifferenziren sich selbige zu einem mittlern Puncte. So erscheint ein schwarzer Streifen auf weißem Grunde, dem Auge zu nah oder zu fern gehalten, um seinen Rand grau.

4) Wird eine dunkle oder farbige Fläche dem Auge sehr nahe gehalten, so erscheint um den Rand derselben eine Art Schattenbild, dessen Gränze dem Rande der Fläche gleichlaufend ist, und welches um so breiter wird, je mehr das Object sich dem Auge nähert. Es ist dies ein wirkliches Doppelsehen mit Einem Auge.

5) Durch Vermittelung der Zerstreuungsbilder können selbst Gegenstände innerhalb der Gränzen des Gesichtsfeldes unsichtbar werden. Dies gilt von allen Körpern, welche als Schatten in die Erscheinung treten, indem sie, nicht selbst leuchtend, sich zwischen dem Auge und einem Lichte befinden. Sie verschwinden augenblicklich, sobald der Raum, welchen ihr Bild auf der Netzhaut einnimmt, von Zerstreuungskreisen der benachbarten lichten Theile bedeckt wird. So bemerkt man ein einzelnes Blatt nicht vor der glänzenden Mondscheibe. Werden aber z. B. durch Anwendung einer Brille die Zerstreuungskreise aufgehoben, so springt sofort das Blatt als ein dunkler Fleck in die Erscheinung. Auf demselben Grunde beruht größtentheils das Nichtsehen kleiner und zu entfernter Gegenstände.

Den Schluß der Abhandlung bildet eine, durch eine Menge Versuche erläuterte, Untersuchung über die Verhältnisse der Zerstreuungsbilder zur Erscheinung der zwischen ihren Gegenständen und dem Auge befindlichen Mittelkörper, und über das Verhältniß des Dunklen zum Hellen in den Zerstreuungsbildern selbst.

Berthold in Göttingen hat*) folgende Frage untersucht: Aus welchem Grunde erkennen wir einen, in irgend einer Richtung vor unserm Auge her sich bewegenden Körper als sehr deutlich sich bewegend, während uns doch ein stillstehender ruhender bei der Bewegung unsers eigenen Auges, obgleich das Gesichtsobject in diesem Falle nicht minder als in jenem gegen uns selbst oder gegen unser Auge und dessen verschiedene Netzhautpuncte eine andere oder wechselnde Lage annimmt, sich nicht zu bewegen scheint.

Die Antwort (die freilich noch keine Erklärung in sich schließt) ist, daß die eigene active Bewegung des Augapfels im einen Falle im Gegensatz der passiven Ruhe im andern Falle den Unterschied in der Empfindung bedinge; deshalb scheinen auch dem Fahrenden die Gegenstände sich zu bewegen, weil sein Auge sich passiv verhält, während es in ein verändertes Verhältniß zur Örtlichkeit der Gegenstände tritt.

### Verfahren zur Bestimmung des deutlichen Sehens.

Young**), Mile***), Lehot†), Holke††) haben sich zur Bestimmung der Gränzen der deutlichen Sehweite einer Verrichtung bedient, deren Wesentliches in nichts Anderem besteht, als in einem weißen Faden, der auf einer dunkeln Fläche ausgespannt wird, und längs dessen man mit dem, am einen Ende des Fadens befindlichen, Auge hinsieht.

Holke, der den Faden von dem untern Augenliede an ausspannen läßt, giebt folgende Bestimmung über die dabei Statt findenden Erscheinungen.

*) Im medicin. Conversationsblatt. I. Jahrg. 1830. Nr. XVIII. 137.
**) Baumg. V. 452.
***) Magendie Journ. de physiol. T. III. Nr. 2. p. 180.
†) Bull. univ. des sc. math. 1829. nov. p. 417.
††) Holke disquisitio de acie oculi dextri et sinistri p. 6.

Der Faden wird an der Stelle am dünnsten, zusammengezogensten erscheinen, wo er dem Auge am deutlichsten erscheint, dagegen sich um so mehr ausbreiten, je mehr seine Puncte von dieser deutlichsten Stelle entweder nach dem Auge zu oder von dem Auge ab liegen, so daß er also die Gestalt zweier sich entgegengekehrten Pyramiden ab und cb (Fig. 67.) darbietet, die an der Stelle b zusammenfließen, wo das deutlichste Sehen Statt findet. Dieser Punct b rückt mehr nach dem Auge zu oder mehr vom Auge ab, je nachdem man sich anstrengt, nähere oder entferntere Puncte des Fadens deutlich zu sehen, und die nächste Gränze, bis zu welcher man solchergestalt die gemeinschaftliche Spitze b der Pyramiden zu bringen vermag, wird die erste Gränze der deutlichen Sehweite, die entfernteste Gränze dagegen die zweite Gränze der deutlichen Sehweite, das Intervall zwischen beiden den Spielraum der deutlichen Sehweite darstellen.

Etwas andere Bestimmungen giebt Lehot, was vielleicht daher rühren mag, daß bei der von ihm angewandten Vorrichtung das Auge sich nicht in der Verlängerung des Fadens, sondern etwas darüber erhaben findet, was mir freilich die Bestimmung der deutlichen Sehweite etwas zu verwickeln scheint.

Sein Apparat besteht nämlich in einem mit schwarzem Sammet überzogenen Lineale von 80 Centimetern Länge gegen 5 Centimeter Breite, auf dessen Mitte der Länge nach der weiße Faden ausgespannt ist. Das Auge nimmt seine Stellung an einer runden Öffnung von 20 Millimeter Durchmesser, deren Mitte 35 Millimeter über der Ebene des Lineales erhaben ist (sie befindet sich in einem Bretchen, senkrecht auf der Oberfläche des Lineales), und mit dem Faden in derselben Verticalebene liegt*).

Applicirt man nun ein Auge an der runden Öffnung, so erscheint nach Lehot, wenigstens wenn ich seine Beschreibung nicht mißverstehe, der Faden in der Gestalt der Figur 68., wo b die erste, c die zweite Gränze, bc der Spielraum der deutlichen Sehweite ist; man sieht mithin nach Lehot beide Gränzen zugleich, dagegen man sie nach Holke nur durch successive Fixation des Gesichtes auf verschiedenen Puncte des Fadens findet. Lehot sagt nämlich:

Wenn man ein Auge an die runde Öffnung bringt, so erscheint der dem Auge nächste Theil des Fadens halb durchsichtig und unter Gestalt eines Winkels **), dessen Spitze sich auf dem Faden in einem gewissen Abstande findet, den man erste Gränze der deutlichen Sehweite nennt. Für die meisten Personen erscheint der unmittelbar darauf folgende Theil

*) Neben dem schwarzen Lineale, in 3 Millimetern Abstand davon, bringt Lehot noch einen graduirten Leisten an, an welchem sich Zeiger, die auf das Lineal bis zu dessen Mitte hinüber reichen, verschieben lassen, um die Abstände zu bestimmen.

**) Hierunter ist der Winkel b (Fig. 68.) mit den beiden ihn einschließenden Seiten zu verstehen.

in einer gewissen Länge bestimmt (netto) und von mattem Weiß. Dann erscheint er wieder in Gestalt eines, dem ersten entgegengesetzten Winkels, dessen Spitze die **zweite Gränze** der deutlichen Sehweite bestimmt; und das Intervall zwischen beiden ist der **Spielraum** (le champ) der deutlichen Sehweite.

**Holke** erinnert, daß Bestimmungen mit Apparaten dieser Art bei Kurzsichtigen (Myopen) in der Regel leicht zu erhalten sind, minder leicht bei Weitsichtigen (Presbyopen), am meisten Schwierigkeit aber bei denen haben, die ein gutes gesundes Auge haben, wegen der Größe des Spielraumes des deutlichen Sehens.

**Über verschiedene, die Sehweite betreffende, Umstände.**

**Resultate von Lehot** *). Mittelst des im Vorigen aus einander gesetzten Apparates hat **Lehot** folgende Bestimmungen gefunden.

Ein biconvexes oder planconvexes Glas, das sich zwischen dem Auge und dem Objecte befindet, bringt die beiden Gränzen der Sehweite einander näher, und zwar desto mehr, je kürzer die Brennweite der Linse ist. So z. B. war für ein Auge ohne Glas

| | | |
|---|---|---|
| die erste Gränze der Sehweite | = 27,5 | Centimeter, |
| = zweite = = = | 33 | = |
| mithin der Spielraum | 5,5 | = |

wurde aber eine Linse von 45 Centimetern Brennweite gebraucht, so fiel

| | | |
|---|---|---|
| die erste Gränze der Sehweite auf | 22,1 | Centimeter, |
| = zweite = = = | 25,7 | = |
| mithin der Spielraum | 3,6 | = |

mit einer Linse von 22 Centimeter Brennweite betrug

| | | |
|---|---|---|
| die erste Gränze der Sehweite | 9,9 | Centimeter, |
| = zweite = = = | 13,1 | = |
| mithin der Spielraum | 3,2 | = |

Die Gränzen der Sehweite liegen dem Auge um so näher, und der Spielraum derselben ist desto kleiner, je brechbarer das Licht ist, welches vom Objecte ins Auge gelangt.

Eine beiderseits concave Linse, zwischen das Object und das Auge gestellt, entfernt die Gränzen der Sehweite von einander, und dasselbe leistet auch ein Mittel, welches dichter als die Luft, und mit parallelen Wänden begränzt ist.

Es giebt Personen, deren zweite Gränze der Sehweite nur 2 Zoll beträgt, andere, bei denen sie in einer unbestimmbaren Entfernung liegt. Im Allgemeinen sind diese Gränzen für jedes der zwei Augen einer Person anders. Bei einer derselben lag für das linke Auge die erste Gränze in

*) Annal. des sc. d'obs. T. 1. Nr. 3. Juin. 1829.; oder Bullet. des sc. math. etc. T. XII. p. 417; oder Baumg. VII. 453.

51°, die zweite in 57°,5, während für das rechte diese zwei Gränzen 52° und 57°,7 waren *).

Diese Gränzen ändern sich mit den Jahren, und zwar entfernt sich die erstere von dem Auge. Der gewöhnliche Gebrauch der Augen und das Tragen von Brillen modificirt diese Gränzen ebenfalls.

Eine Erweiterung der Pupille entfernt die erste Gränze und nähert die zweite, vermindert also den Abstand derselben von einander; eine Verengung der Pupille bringt eine entgegengesetzte Wirkung hervor. Einige Menschen scheinen nach Belieben die Gränzen der Sehweite ändern zu können. Ein Druck mit dem Finger auf das Auge verschiebt diese Gränzen ebenfalls.

Von einem Objecte, das sich außerhalb des Spielraumes der deutlichen Sehweite befindet, erhält man nur ein undeutliches Bild. Diese Undeutlichkeit ist desto größer, je kleiner das Object ist, falls die Entfernung desselben ungeändert bleibt; sie kann so weit gehen, daß das Object ganz verschwindet, welches nach T. Mayer mit einem schwarzen auf weißem Grunde verzeichneten Kreise, den man im Schatten ansieht, bei einem Sehwinkel von nahe 34″ erfolgt.

Für ein Auge, dessen zweite Gränze der Sehweite weiter vom Auge entfernt ist, verschwindet das Bild eines solchen Objectes auch erst in größerer Ferne, als für ein solches, dessen zweite Gränze demselben näher liegt. Mittelst eines durchstochenen Blattes kann man die Entfernung, bei welcher das Verschwinden eintritt, vergrößern. Beim Gebrauche eines convexen Glases tritt jenes Verschwinden bei einer geringern Entfernung ein, als mit freiem Auge, beim Gebrauche eines concaven Glases hingegen in einer größern Entfernung.

Befindet sich das Object diesseits der ersten Gränze der Sehweite, so finden analoge Verhältnisse Statt.

Aus diesen Gründen meint Lehot, daß uns Gegenstände nicht wegen zu kleinem Gesichtswinkel verschwinden, sondern wegen zu großer Undeutlichkeit, etwa so, wie die Bilder auf der Wand eines Zimmers, wohin das Licht durch Fenster gelangt, und welche den Gegenständen angehören, die das Licht ins Zimmer senden, wegen zu großer Undeutlichkeit nicht wahrnehmbar sind.

Diese Bemerkungen benutzt Lehot, um für ein kurz- oder weitsichtiges Auge die passende Brille zu wählen. Es giebt für jedes Object, das sich in einer bestimmten Entfernung außerhalb der Gränzen der Sehweite befindet, eine Linse, welche diese Gränzen und ihre gegenseitige Entfernung so abändert, daß das Bild am reinsten an der Gränze der Sehweite erscheint. Convexe Linsen ermüden die Augen darum so sehr, weil sie den Abstand der beiden Gränzen der Sehweite vermindern.

*) Noch mehrere Belege hiezu hat Holke geliefert. (s. das Folgende).

Resultate von Holke *). Dr. Holke hat durch Vergleichung einer sehr großen Anzahl Fälle von Kurz- und Weitsichtigkeit **) nicht uninteressante Resultate über das häufigste Vorkommen dieser respectiven Gesichtsfehler je nach Stand, Geschlecht und Alter gefunden, deren Übersicht in den beigefügten Tabellen vorliegt. Folgendes scheinen mir die bemerkenswerthesten Ergebnisse zu sein, die sich aus der Ansicht der Tabellen und der vom Verfasser hinzugefügten Erörterungen ergeben.

(Hieher Tabelle I.)

Es fanden sich unter 14075 Fällen jedes Alters, Standes und Geschlechtes:

6379 Kurzsichtige ***) (Myopen),
5685 Weitsichtige (Presbyopen),
2011 Amblyopen.

wonach die Fehler der Kurzsichtigkeit und der Weitsichtigkeit fast gleich oft vorzukommen scheinen.

Unter den Kurzsichtigen war bei 2744 Fällen die Kurzsichtigkeit größer auf dem einen als auf dem andern Auge, bei 3635 Fällen auf beiden Augen gleich; unter den Weitsichtigen war bei 1989 Fällen die Weitsichtigkeit größer auf einem als dem andern Auge, bei 2011 Fällen auf beiden Augen gleich.

Es kommen auch Fälle vor, wo das eine Auge kurzsichtig, das andere weitsichtig ist. So war bei einem Gelehrten die Sehweite (die mittlere?) des rechten Auges 70, die des linken 10 Zoll; bei einem Kaufmann die Sehweite des rechten Auges 11, die des linken 40 Zoll ꝛc. Mehrere Beispiele hierzu enthält Tabelle II. — Schielende zeigten fast ohne alle Ausnahme eine verschiedene Sehweite beider Augen (Tabelle dazu im Original Seite 18).

Verschiedene Physiologen, u. a. Porterfield und Treviranus, haben angenommen, daß eine Ungleichheit in der Gesichtsweite beider Augen für das Deutlichsehen vielmehr vortheilhaft als nachtheilig sei, indem dann ein Auge den näheren, das andere den weiteren Gegenständen mehr angepaßt sei. Die Beobachtungen des Verfassers jedoch widersprechen diesem; denn nicht nur fand er bei vielen Menschen, die sowohl nähere als fernere Gegenstände mit vorzüglicher Deutlichkeit erblickten, beide Augen von gleicher Sehweite, sondern er beobachtete auch Beispiele, wo das kurzsichtigere

*) Dessen Disquisitio de acie oculi dextri et sinistri etc. Lipsiae 1830. (zu haben bei Voß).

**) Theils nach eigenen Beobachtungen, theils nach Notizen, die aus dem im physikalisch-optischen Institute Tauber's zu Leipzig geführten Diarium geschöpft war. Die Resultate wurden theils durch das S. 204 f. angegebene Verfahren, theils durch Beobachtungen über den Gebrauch von Augengläsern gefunden.

***) Wie es nach Seite 7 scheint, ist als allgemeines Kriterium der Kurzsichtigkeit genommen, daß das Deutlichersehen entfernter Gegenstände durch biconvexe; der Weitsichtigkeit, daß das Deutlichersehen naher Gegenstände durch biconcave Gläser unterstützt wird.

auf die Schwei

| 17<br>Weiber bis den ...eren ...nden von ...—60 Jahren. | 18<br>Knaben von 8—16 Jahren. | 19<br>Mädchen von 8— Jahr |
|---|---|---|
| 5 | 13 | |
| 8 | 9 | |
| 31 | 5 | vac |
| 33 | 2 | |
| 15 | 30 | 1 |
| 30 | 3 | |
| 53 | 16 | |
| 00 | 73 | 2 |

Augen die Weitsichtigkeit des andern beschränkte, wenn es mit ihm zugleich angewandt wird, so daß beim Sehen mit beiden Augen zugleich Gegenstände nur in minderer Entfernung deutlich erblickt werden konnten, als beim Sehen mit dem weitsichtigern Auge allein. Erläuternd in diesem Bezuge wird die beigefügte Tabelle III. sein.

Unter Personen weiblichen Geschlechtes giebt es mehr Weitsichtige als Kurzsichtige; denn es wurden unter 2330 weiblichen Personen jeden Alters (zwischen 8 und 90 Jahren) und jeden Standes 1476 Weitsichtige gegen 854 Kurzsichtige gefunden. Die Weitsichtigkeit bildet sich jedoch erst später aus; denn unter Mädchen von 8 bis 16 Jahren findet sich Kurzsichtigkeit häufiger als Weitsichtigkeit, nämlich die Fälle der Kurzsichtigkeit zu denen der Weitsichtigkeit verhalten sich hier wie 23 : 3. Geringer war letzteres Verhältniß bei Knaben von demselben Alter, wo 52 Kurzsichtige gegen 10 Weitsichtige gefunden wurden.

Was den Einfluß der Stände anlangt, so wird Kurzsichtigkeit am meisten durch den Gelehrtenstand begünstigt, denn es verhielt sich die Zahl der kurzsichtigen zu der der weitsichtigen Gelehrten (Schüler und Studenten eingeschlossen) in dem Alter von 16 bis 60 Jahren wie 690 : 2914. Weitsichtigkeit trifft man an besonders bei Jägern, Ökonomen, Bauern.

## Tabelle II.

Fälle, wo das eine Auge kurzsichtig, das andere weitsichtig ist.

| Stand der Person. | Sehweite *) des rechten Auges in Zollen. | Sehweite des linken Auges in Zollen. |
|---|---|---|
| Schreiber | 7 | 26 |
| Bäcker | 24 | 30 |
| Gelehrter | 10 | 30 |
| Kaufmann | 11 | 40 |
| Student | 15 | 32 |
| Kaufmann | 16 | 50 |
| Kaufmann | 40 | 12 |
| Student | 34 | 15 |
| Kaufmann | 60 | 11 |
| Gelehrte | 70 | 10 |
| Kaufmann | 36 | 26 |
| Gelehrter | 26 | 34 |
| Kaufmann | 20 | 23 |
| Kaufmann | 20 | 14 |

*) Wie es scheint, ist wohl die mittlere Sehweite hierunter zu verstehen, was im Original nicht bemerkt ist.

## Tabelle III.

über verschiedene Fälle der Ungleichheit der Gränzen der Sehweite auf beiden Augen.

| Gränzen der Sehweite beim Sehen mit beiden Augen in Zollen. | Gränzen der Sehweite beim Sehen bloß mit dem rechten Auge in Zollen. | Gränzen der Sehweite beim Sehen bloß mit dem linken Auge in Zollen. |
|---|---|---|
| 2½ — 56¼ | 3 — 51 | 2 — 59 |
| 2½ — 35½ | 3¼ — 40 | 3¼ — 33 |
| 2½ — 47 | 2½ — 12¼ | 2½ — 48½ |
| 3¼ — 56½ | 2¾ — 54¾ | 2¾ — 54¾ |
| 2¾ — 35½ | 2¾ — 34¾ | 2¾ — 28¾ |
| 2¾ — 13 | 2¾ — 17½ | 3¼ — 7 |
| 2¾ — 49½ | 2¼ — 38¼ | 2¾ — 38¼ |
| 2¾ — 27 | 2¼ — 33½ | 2¾ — 23½ |
| 3¼ — 27 | 2¾ — 35½ | 3¼ — 21 |
| 3¼ — 12¼ | 2¾ — 10 | 2¾ — 13 |
| 3¼ — 24 | 3¼ — 27¾ | 4½ — 7¾ |
| 2¾ — 47¾ | 5¼ — 7¾ | 2¾ — 49½ |
| 2½ — 61 | 3½ — 63½ | 2½ — 55½ |
| 3½ — 31¼ | 2¼ — 35 | 4 — 13 |
| 3 — 35 | 2¼ — 46 | 2½ — 32 |
| 3 — 33 | 3 — 31¼ | 3¼ — 28 |
| 2¾ — 59 | 2⅛ — 63½ | 3¾ — 4½ |
| 3 — 63½ | 3⅛ — 61 | 2⅜ — 62⅛ |
| 3 — 15¾ 28¾ | 3 — 16½ 24½ | 3 — 14½ 31¼ |
| 3 — 16 | 3 — 5¾ | 3 — 19¾ |
| 3 — 37 | 3 — 40 | 3 — 28¾ |
| 2¼ — 13 | 3½ — 14¾ | 2¾ — 8 |
| 2¼ — 29¾ | 3 — 31¼ | 2 — 27 |
| 3½ — 31 | 2¼ — 28 | 2¼ — 34 |
| 2½ — 28 | 2½ — 4¼ | 2¼ — 30½ |
| 2¾ — 22¾ | 2¼ — 24½ | 3¼ — 17½ |

### über die Dauer der Gesichtseindrücke bei verschiedenen Farben, von Plateau*).

Plateau hat über diesen Gegenstand, der dem von Savart in Bezug auf den Schall behandelten sehr analog ist, neuerdings Versuche

*) Pogg. XX. 304.

angestellt, welche zu genaueren Bestimmungen darüber führen, als frühere, die man namentlich von d'Arcy *) und Young **) über diesen Gegenstand hat, da das Verfahren von d'Arcy (Young führt keine Versuche an) mehrere Schwierigkeiten darbot, die vom Verfasser zum Theil beseitigt worden sind.

Als hauptsächlichstes Resultat geht aus seinen Versuchen hervor:

In der absoluten Dauer des Lichteindruckes, den verschiedene Farben hervorbringen, findet folgende Reihenfolge Statt: Weiß, Gelb, Roth, Blau, so daß der Eindruck, den Weiß hervorbringt, am längsten dauert, der Eindruck von Blau am kürzesten.

Dieselbe Reihenfolge findet aber auch unter ihnen Statt hinsichtlich der verhältnißmäßigen Abnahme des Lichteindruckes in gleicher Zeit, so daß der Eindruck, den Weiß auf das Auge gemacht hat, in gleicher Zeit verhältnißmäßig um mehr abnimmt, als der Eindruck, den Roth oder Blau gemacht hat. Bestätigt und erläutert werden diese Umstände durch folgende Versuche werden.

1) Gleichgestaltete Stücke aus weißem, gelbem, rothem und blauen Papier ***) wurden mittelst des anhangsweise beizufügenden Verfahrens schnell im Kreise gedreht, und, indem man dieselben gegen einen Hintergrund aus schwarzem Sammet betrachtete, die Schnelligkeit des Umlaufes verglichen, welche für diese verschiedenen Farben erfoderlich war, um (wie bei dem bekannten Versuche mit dem Umschwunge einer glühenden Kohle) den Anschein eines continuirlichen farbigen Kreises zu geben, wonach sich dann die Dauer eines Eindruckes der Farbe auf das Auge bestimmen ließ †). Solchergestalt ergaben sich für die Dauer eines Eindruckes in Sexagesimalsecunden folgende Resultate:

| | Weiß. | Gelb. | Roth. | Blau. |
|---|---|---|---|---|
| | 0″,34 | 0″,36 | 0″,33 | 0″,31 |
| | 0 ,33 | 0 ,36 | 0 ,37 | 0 ,30 |
| | 0 ,35 | 0 ,36 | 0 ,37 | 0 ,33 |
| | 0 ,35 | 0 ,35 | 0 ,33 | 0 ,30 |
| | 0 ,38 | 0 ,36 | 0 ,35 | 0 ,34 |
| | 0 ,37 | 0 ,34 | 0 ,32 | 0 ,36 |
| Mittel | 0″,35 | 0″35 | 0 34 | 0 ,32 |

*) Mém. de l'Acad. des sc. 1765

**) A Course of lectures on natural philos. I. 455.

***) Die Papiere waren gefärbt mit Gummigutt, Carmin und Berlinerblau.

†) Die Dauer eines Eindruckes ist nämlich gleich der eines Umlaufes, wenn die Breite des Gegenstandes vernachlässigt werden kann; wenn er dagegen, wie bei den Versuchen des Verfassers, einen bogenförmigen Streifen bildet, der z. B. ein Viertel des zu durchlaufenden Kreises ausfüllt, so muß man hier von der Dauer eines Umlaufes ein Viertel abziehen.

Sonach dauert der Gesichtseindruck von Weiß und Gelb am längsten, kürzere Zeit der von Roth, noch kürzer der von Blau. Wahrscheinlich ist er etwas kürzer für Gelb als Weiß, was jedoch die geringe Genauigkeit, mit der sich diese Versuche anstellen lassen, nicht zu unterscheiden erlaubte.

2) Wenn man eine Papierscheibe sich in ihrer Ebene um ihre Mitte drehen läßt, die in abwechselnd schwarze und gefärbte*) Abtheilungen getheilt ist, wie in Fig. 68. vorgezeichnet ist, so gewahrt bei langsamer Geschwindigkeit das Auge, welches sich vor dem Instrumente befindet, nur ein Zittern, eine rasche Folge von hellen und dunklen Lichtern. Vermehrt man aber diese Geschwindigkeit, so nimmt diese Verwirrung ab, und man gelangt endlich zu einem Puncte, wo ein gleichförmiger Farbenton erscheint**). Bei Vergleichung nun der Dauer eines Umlaufes, welche bei den verschiedenen Farben erfoderlich war, um einen solchen homogenen Farbenton zu erreichen, wurden folgende Resultate erhalten***).

| | Weiß. | Gelb. | Roth. | Blau. |
|---|---|---|---|---|
| | 0″,191 | 0″,201 | 0″,248 | 0″,328 |
| | 0 ,194 | 0 ,201 | 0 ,230 | 0 ,295 |
| | 0 ,198 | 0 ,202 | 0 ,227 | 0 ,264 |
| | 0 ,182 | 0 ,192 | 0 ,224 | 0 ,297 |
| Mittel | 0″,191 | 0″,199 | 0″,232 | 0″,295 |

Diese Resultate stehen, wie man sieht, in umgekehrter Ordnung, als die unter 1) gefundenen, und scheinen für den ersten Anblick in Widerspruch damit zu stehen, den jedoch der Verfasser durch folgende Erörterungen beseitigt.

Die unter 1) erhaltenen Resultate lehren allerdings, daß Weiß und Gelb Gesichtseindrücke von der größten absoluten Dauer hervorbringen; was damit zusammenzuhängen scheint, daß ihre Eindrücke auf das Auge die größte Intensität haben; allein so wie von zwei ungleich heißen Körpern der intensiv heißere zwar langsamer auf die Temperatur der äußern Umgebung zurückkommt, aber doch verhältnißmäßig schneller erkaltet, als ein minder heißer, so scheinen auch die unter 2) gefundenen Resultate davon abzuhängen, daß die schwächeren Gesichtseindrücke, welche von Roth und

*) Die weiß gelassenen Trepeze sind mit Blau, Roth oder Gelb gefärbt zu denken.

**) Der ganze, in schwarze und gefärbte Felder getheilte, Raum zeigt sich dann vollkommen gleichförmig und seine Farbe ist der gleich, welche aus einer Vermengung von Schwarz mit der Nuance der gefärbten Felder entstehen würde. Sind die schwarzen Felder ausgeschnitten, so erscheint die Scheibe durchsichtig, und Gegenstände, die man zwischen der Scheibe und dem schwarzen Sammet anbringt, sind wie durch einen gefärbten Schleier sichtbar.

***) An einer Scheibe, welche 12 schwarze und 12 gefärbte Felder enthielt, so daß man die Dauer eines Umlaufes nur nöthig hat durch 24 zu dividiren, um den Zeitraum zwischen den Durchgängen zweier auf einander folgender gefärbter Felder, oder, mit anderen Worten, die Zeit, während welcher ein Eindruck sich ohne merklichen Verlust erhält, zu erhalten.

Blau hervorgebracht werden, langsamer abnehmen als die stärkeren, welche von Gelb und Weiß erzeugt werden. Denn man hat Grund anzunehmen, daß erst bei einer solchen Geschwindigkeit der sich drehenden Scheibe ein gleichförmiger Farbenton entsteht, wo der Eindruck, den das erste Farbenfeld erzeugt hat, noch merklich ungeschwächt fortbesteht, wenn das zweite in demselben Raume anlangt. Wenn nun bei Gelb und Weiß in gleicher Zeit eine stärkere Schwächung des Eindruckes Statt findet, als bei Roth und Blau, so wird auch bei letzteren Farben die Homogeneität der Färbung bei minderer Schnelligkeit der Drehung eintreten können, als bei ersteren; oder, um die Sache auf eine vielleicht anschaulichere Weise darzustellen, die unter 1) und 2) angeführten Resultate scheinen durch die Annahme erklärlich, daß Weiß und Gelb bei schneller Drehung zwar eine längere Spur hinter sich lassen, die daher eher einen vollständigen Kreis completiren kann, als Blau und Roth; daß aber ihrerseits Blau und Roth eine gleichförmigere Spur hinterlassen, als Weiß und Gelb, bei denen sie schnell an Intensität abnimmt, so wie sie hinter dem Orte der wirklichen Farbe zurückbleibt, daher ein gleichförmig gefärbter Kreis leichter durch Blau und Roth, als durch Weiß oder Gelb erzeugt werden wird *).

3) Man theile zwei Scheiben A und B (Figur 64.) in schwarze und weiße Sectoren, und zwar jede Scheibe in eine gleiche Anzahl, gebe aber auf einer Scheibe den weißen Sectoren gegen die schwarzen, und auf der andern Scheibe den schwarzen Sectoren gegen die weißen eine geringere Breite. Man drehe nun nach einander beide Scheiben genau mit der Geschwindigkeit, welche zu Hervorbringung eines gleichförmigen Farbentones erfoderlich ist, und messe in beiden Fällen die Dauer eines Umlaufes. Man wird diese Zeiten stets einander gleich finden, wie ungleich auch die Breite der schwarzen und weißen Sectoren ist.

Dieser Versuch führt zu derselben Folgerung, als der Versuch 2) in Betreff des für die Abnahme der Eindrücke gefundenen Gesetzes. Denn erstlich folgt aus der Gleichheit der Geschwindigkeit beider Scheiben, daß die weißen Sectoren von A, welche viel schmäler als die von B sind, einen weit schwächern Eindruck als diese hervorbringen **), und dies beweist auch

*) Man kann fragen, warum, wenn der gleichförmige Farbenton dadurch entsteht, daß der Eindruck, den ein Farbenfeld im Vorbeigehen hervorgebracht hat, noch merklich ungeschwächt bis zum Vorbeigehen des nächsten Farbenfeldes fortbesteht, doch dieser Farbenton dunkler ist, als wenn die ganze Scheibe ohne Abwechselung mit schwarzen Feldern mit der Farbe tingirt wäre. Die Antwort hierauf ist, daß jedes gefärbte Feld mit zu großer Schnelligkeit vor dem Auge vorübergeht, um einen vollständigen Eindruck zu hinterlassen, denn auch die Entstehung eines Gesichtseindruckes erfodert eine gewisse Zeit. Die Erscheinung geht vielmehr aus einer Aneinanderfügung unvollkommener aber gleichförmiger Eindrücke hervor.

**) Denn die schmäleren Streifen entschwinden dem Auge eher als die brei-

der gleichförmige Farbenton, welcher bei der Scheibe A viel dunkler als bei der andern ist. Wir haben hier also zwei Eindrücke von gleicher Natur, aber ungleicher Stärke, deren Abnahme wir vergleichen können. Aus der Gleichheit der Geschwindigkeit beider Scheiben folgt ferner, daß die schwarzen Sectoren von A, da sie breiter sind als die von B, eine längere Zeit als diese zu ihrem Vorübergange vor dem Auge gebrauchen, und daraus ergiebt sich nothwendig, daß die Zeit, während welcher der Eindruck sich ohne merklichen Verlust erhält, bei der Scheibe A länger ist als bei der Scheibe B, oder, mit anderen Worten, daß ein schwacher Eindruck langsamer abnimmt als ein starker. Daraus folgt endlich unser Abnahmegesetz.

Endlich führt auch folgender Versuch zu derselben Folgerung:

4) Man theile zwei Scheiben A und B (Figur 65.) in abwechselnd weiße und schwarze Sectoren, und gebe den weißen Sectoren auf beiden Scheiben eine gleiche Breite, bringe sie aber in ungleicher Zahl an, so daß die schwarzen Zwischenräume auf der einen Scheibe breiter als auf der andern sind. Man lasse nun die beiden Kreise genau mit der Geschwindigkeit drehen, welche zur Hervorbringung eines gleichförmigen Farbentones erforderlich ist, wo dann, wie man sich erinnern wird, die Dauer des Vorüberganges eines Sectors gleich ist der Zeit, während welcher der Eindruck sich ohne merklichen Verlust erhält. Da die schwarzen Sectoren auf der Scheibe A breiter sind als auf der Scheibe B, so wird die Geschwindigkeit der ersteren größer als die der letzteren sein müssen, damit die Schnelligkeit des Vorüberganges der Sectoren die Breite derselben compensire; und dies bestätigt auch die Erfahrung. Wenn aber die Scheibe A sich schneller als die Scheibe B dreht, so erzeugen die weißen Sectoren der ersten einen unvollkommenern und folglich schwächern Eindruck im Auge als die zweiten, und dies zeigt die Erfahrung dadurch, daß der gleichförmige Farbenton der Scheibe A viel dunkler ist als der der Scheibe B. Man sieht, daß wir uns durch dieses einfache Mittel zwei Eindrücke von gleicher Natur, d. h. aus gleicher Farbe entspringend, verschafft haben, die nur an Stärke verschieden sind, und an denen wir die Geschwindigkeit der Abnahme vergleichen können. Finden wir nun diese Geschwindigkeit ungleich, nämlich kleiner bei dem schwächern Eindruck, so müssen wir daraus schließen, daß ein und derselbe Eindruck rascher oder langsamer abnimmt, als er mehr oder weniger stark ist, und daß folglich, beim Erlöschen eines Eindruckes, der Gang der Abnahme sich verzögert, in dem Maße als der Eindruck seinem Ende nahe kommt.

Um die Geschwindigkeiten der Abnahme zu vergleichen, braucht man nur für jede unserer Scheiben die Zeit zu suchen, während welcher der Eindruck ohne merklichen Verlust bestanden hat, d. h. die Dauer des Vorüberganges eines Sectors (die Rechnung bietet keine Schwierigkeit dar,

teren, und lassen denselben daher nicht so viel Zeit, den Eindruck zur Vollständigkeit gelangen zu lassen.

weil man die Breite der Sectoren und die Dauer eines ganzen Umlaufes kennt). Der Verfasser hat diese Zeit in einigen Fällen bestimmt, und beständig gefunden, daß dem Kreise, welcher den schwächern Eindruck hervorbringt, eine längere Zeit, d. h. eine geringere Geschwindigkeit, der Abnahme entspricht. Wenn z. B. die schwarzen Sectoren der Scheibe A, wie in Figur 65., vier Mal so groß wie die der Scheibe B sind, so verhält sich die Zeit, während welcher der Eindruck ohne merklichen Verlust andauert, bei der Scheibe A zu der bei der Scheibe B wie 1 : 0,76.

Nähere Beschreibung des Instrumentes, welches bei Versuch 1) angewandt ward. Dies Instrument besteht (wie das von d'Arcy bei seinen Versuchen angewandte) aus einem System von verticalen Rädern, die so von Gewichten in Bewegung gesetzt werden, daß das letzte Rad eine beträchtliche Geschwindigkeit erlangen kann, während die des Rades mit dem Gewichte nur sehr gering ist. Die Axe jenes Rades trägt einen Zeiger mit einer Pincette am Ende, bestimmt die Gegenstände zu halten. Durch Vermehrung oder Verminderung der Gewichte kann man dem Zeiger alle möglichen Grade von Geschwindigkeit ertheilen, und seine Bewegung, die in den ersten Augenblicken eine beschleunigte ist, wird nach einigen Minuten gleichförmig, weil die Reibung und andere Widerstände mit der Geschwindigkeit wachsen, und endlich die von der Schwerkraft bewirkte Beschleunigung zerstören. Das Instrument war überdies, zur Regulirung seines Ganges, mit einem Windfang versehen, und der ganze Apparat wurde in der Höhe des Auges in einiger Entfernung dem Fenster gegenüber aufgestellt. Da das Ende des Zeigers einen Kreisumfang beschrieb und alle wünschenswerthen Grade von Geschwindigkeit erlangen konnte, so befand sich der farbige Gegenstand unter den erfoderlichen Bedingungen. Um die Dauer eines Umlaufes desselben zu bestimmen, brauchte man nur das Instrument eine bestimmte Zeit hindurch gehen zu lassen, und die Umläufe eines der ersteren Räder, dessen Geschwindigkeit nur unbedeutend war, zu zählen; aus der Zahl der Zähne auf den Rädern und Getrieben ergab sich dann die Zahl der Umläufe des letzten Rades, und diese Zahl, durch die Zeit dividirt, war dann die Dauer eines Umlaufes.

Als farbiger Gegenstand, der an den Zeiger befestigt wurde, diente ein gefärbter Papierstreifen, der das Viertheil des Kreises ausfüllte, in dem er gedreht wurde *).

Vergleichung der Stärke der Farben, von Plateau **).

Das Resultat von Plateau's Versuchen ist, daß, wenn man Gelb durch Gummigutt, Roth durch Carmin, Blau durch Berlinerblau hervor-

*) Genauer gesprochen bestand der Gegenstand aus einem Papierstreifen, der durch zwei, der Axe des Zeigers concentrische, Kreisbogen begränzt war und durch zwei Radien, die einen rechten Winkel mit einander bildeten.

**) Pogg. XX. 324.

bringt und unter einander mit Weiß vergleicht, die Stärke des Eindrucks, den diese Farben auf das Auge machen, in folgender Ordnung steht:

Weiß, Gelb, Roth, Blau,

welches auch die Ordnung der Dauer ihres Eindruckes ist. Es ergab sich dies Resultat übereinstimmend nach folgenden 2 ganz verschiedenen Methoden.

1) Eine Kreisscheibe wurde in verschiedenartig gefärbte Sectoren, z. B. blaue und rothe, getheilt und durch Versuche ermittelt, welche Breiten respectiv die Sectoren der einen und andern Farbe gegen einander haben müssen, um bei schneller Drehung der Scheibe diese so gefärbt erscheinen zu lassen, daß weder die eine noch die andere Farbe vorzuwiegen schien. Natürlich wird man annehmen müssen, daß diejenige Farbe einen schwächern Gesichtseindruck hervorbringt, die hiebei einer größern Breite bedarf. Folgendes waren die Resultate:

a) eine Kreisscheibe, getheilt in blaue und gelbe Sectoren, gab einen Farbenton, der zu keiner dieser Farben vorwaltend hinneigte, sobald die blauen Sectoren beinahe 4 Mal so breit waren, als die gelben;
b) ein prächtiges Violett wurde erhalten, als Blau und Roth fast in demselben Verhältniß angewandt wurden, d. h. das Blau war 4 Mal breiter, als das Roth;
c) Endlich gaben Roth und Gelb sehr nahe in dem Verhältniß fünf zu drei ein Orange, welches genau zwischen beiden in der Mitte zu legen schien.

2) In Betracht, daß, wenn eine Farbe unter einem kleinern Gesichtswinkel als eine andere sichtbar ist, oder, was dasselbe sagt, wenn ein mit der erstern Farbe bemalter Gegenstand in größerer Entfernung als ein gleicher mit der andern bemalter Gegenstand gesehen werden kann, dies davon abzuleiten ist, daß das Auge von der ersten einen stärkern Eindruck als von der letztern erfährt, untersuchte Plateau, unter welchem Gesichtswinkel jede der vier Farben, Weiß, Gelb, Roth, Blau aufhöre für das Auge sichtbar zu sein. Zu diesem Ende bemalte er kleine Papierstreifchen von 1 Centimeter mit den genannten Farben, befestigte sie an einer geschwärzten Tafel, die vertical im Freien aufgestellt war, und entfernte sich langsam so weit, bis der farbige Gegenstand nur als eine kleine, kaum wahrnehmbare Wolke mehr erschien, und einige Schritte weiter vollständig verschwand. Nach der so erreichten Entfernung vom Gegenstande wurde dann der Winkel zwischen den Gesichtsstralen berechnet, die von dem Auge zu den beiden Enden des Durchmessers der Scheibe gingen. Die Resultate in zwei Fällen waren folgende:

| | Im Schatten. | Im Sonnenschein. |
|---|---|---|
| Weiß | 18″ | 12″ |
| Gelb | 19 | 13 |
| Roth | 31 | 23 |
| Blau | 42 | 26 |

**Verschiedene bemerkenswerthe Erscheinungen, durch Einwirkung farbiger Gesichtseindrücke auf einander.**

Brockedon *) hat mehrere interessante Erfahrungen über die subjectiven Farbenerscheinungen gemacht, welche Statt finden, wenn man mit jedem beider Augen durch verschieden gefärbte Flüssigkeiten hindurchsieht. Er hatte drei flache Flaschen, deren eine mit rother Krapptinctur, die andere mit blauer schwefelsaurer Kupferlösung, die dritte mit chromsaurer Kalklösung oder Safrantinctur gefüllt war. Hielt er nun die flache Seite der Flasche mit der gelben Flüssigkeit an das eine, und die Flasche mit blauer Flüssigkeit an das andere Auge, so zeigte sich durch das Zusammenwirken beider Farben Grün. Sah man lange mit einem Auge durch eine solche Flüssigkeit, so erschien bald am andern Auge die complementäre Farbe derselben, und beide Farben neutralisirten sich. Merkwürdig ist die Erscheinung, welche sich darbot, als man schief durch die Flaschen sah, und wo die reine, die complementäre und die resultirende Farbe zugleich erschienen. Wurde das rothe Glas an der rechten Seite, das blaue an der linken vor das Auge gehalten, und beide mit der Nase völlig in Berührung gebracht, hierauf aber gegen ein Fenster hingesehen, so daß man mit jedem Auge bei der Flasche vorbei das Fenster erblicken konnte; so erschien der mittlere Theil, wo sich die Farben deckten, purpurroth. Zuerst nahm das rechte Auge Roth wahr und das linke Blau, doch traten die complementären Farben bald so mächtig hervor, daß der Himmel, den man durch das Fenster sah, an der rechten Seite schön blaugrün, an der linken Seite roth orange erschien, und man nicht mehr recht wußte, in welcher Hand man das rothe, in welcher man das blaue Glas hielt. Die Intensität der dem Auge sich darstellenden Farben läßt bald nach, und wird endlich durch die complementäre ganz aufgehoben. Hält man die flache Seite eines der farbigen Gläser vor ein Auge, so erregt das Blau des rechten Auges Orange, das Gelb des linken Purpurroth; entfernt man die Gläser, so erscheinen mit beiden Augen für einen Augenblick alle Objecte röthlich, doch kann man es durch schnelles und abwechselndes Öffnen des einen und andern Auges dahin bringen, daß eine Weile hindurch alle Gegenstände dem rechten Auge orange, dem linken purpurroth erscheinen.

Von anderer Art, als die hier beschriebenen, sind die nachfolgenden Beobachtungen von Plateau**), die sich mir indeß doch am natürlichsten hier anreihen zu lassen scheinen.

1) Versetzt man eine Scheibe, die in Sectoren von zwei verschiedenen Farben getheilt ist, in eine Drehung, die noch nicht so groß ist, um einen gleichförmigen Farbenton hervorzubringen, so gewahrt man bald, inmitten des aus der Folge der Eindrücke entstehenden Flimmerns, sehr lebhafte Farben, die verschieden sind von den auf der Scheibe befind-

*) Baumg. VIII. 474.
**) Pogg. XX. 328.

lichen Farben und von deren Mischung. Sind z. B. Gelb und Blau die in Bewegung gesetzten Farben, so unterscheidet man sehr hervortretende Nuancen von lebhaftem Weiß und Orange; sind es dagegen Gelb und Roth, so ist die fremde Nuance ein sehr schönes Grün.

Zum völligen Gelingen dieser Versuche sind mehrere Umstände erfoderlich. Erstlich ist die Geschwindigkeit nicht gleichgültig; man erhält die zweckmäßigste, wenn man sie anfangs sehr klein nimmt, und dann stufenweise vergrößert. Dann muß das Auge sich vor dem Mittelpuncte der Scheibe befinden. Endlich müssen die Farben mehr oder weniger gesättigt sein, je nach dem fremden Farbentone, welchen man hervorbringen will. Sollen z. B. Blau und Gelb ein schönes Weiß geben, muß das Blau sehr intensiv sein, und die Breite der mit ihm bemalten Sectoren 5 bis 6 Mal größer als die der gelben Sectoren; sollen sie dagegen ein schönes Orange geben, muß das Gelb intensiver und das Blau ein wenig blaß sein. Gelb und Roth geben nur dann eine schöne grüne Farbe, wenn sie beide intensiv sind ꝛc. Das Sonderbarste bei diesen Erscheinungen ist aber die Entstehung des Weißen; denn dieses Weiß ähnelt durchaus nicht dem graulichen Weiß, welches man durch schnelle Umdrehung einer mit den sieben Hauptfarben bemalten Scheibe bekommt; es ist vielmehr sehr lebhaft.

2) Um die genannten Erscheinungen hervorzurufen, haben wir unseren Scheiben nur eine geringe Geschwindigkeit gegeben; drehen wir sie jetzt so rasch, daß sie einen gleichförmigen Farbenton liefern. Nun zeigt sich eine andere Thatsache, nämlich die, daß die hiedurch bewirkte Combination der Eindrücke beider Farben bei weitem nicht immer denselben Farbenton hervorbringt, wie das materielle Gemenge der beiden angewandten Farben. Macht man in zweckmäßigem Verhältniß ein Gemenge von Gummigutt und Berlinerblau, und bemalt damit ein weißes Papier, so bekommt man ein schönes Grün. Theilt man aber eine Scheibe in Sectoren, und bemalt die einen mit Gummigutt, die anderen mit Berlinerblau, trägt beide Farben recht stark auf, und giebt den Sectoren ein solches Breitenverhältniß, daß in der resultirenden Farbe weder das Blau noch das Gelb vorherrschen würde, so wird die gleichförmige Farbe, welche bei schneller Umdrehung der Scheibe entsteht, vollkommen grau sein, ohne den mindesten Stich ins Grüne. Nur bei Anwendung eines blassen Blaues gelingt es, diesem Grau einen schwachen Stich ins Grüne zu geben, und ohne Zweifel ist es ein solches Blau gewesen, dessen sich d'Arcy bediente, als er suchte, was das Resultat der Umdrehung einer gelb und blau bemalten Scheibe sein würde; denn er behauptet Grün bekommen zu haben. Die Combination der Eindrücke des Gelben und Rothen, oder des Rothen und Blauen bietet keine analogen Erscheinungen dar, d. h. sie giebt beinahe dieselbe Farbe wie das materielle Gemenge der beiden Pigmente. So erhält man im ersten Falle Orange, im zweiten Violett, und dies letztere ist sogar lebhafter als das, welches ein mit dem Gemenge von Roth und Blau bemaltes Papier darbietet.

5) Als **Plateau** untersuchte, welchen Einfluß der Grad der Dunkelheit einer Farbe auf die Stärke des von ihr gemachten Eindruckes haben könnte, wurde er zu der Beobachtung einer dritten Thatsache geführt, zu der, **daß es für die meisten Farben eine gewisse Abstufung zwischen dem Dunklen und Blassen giebt, bei welcher sie in dem Gemenge von Eindrücken, das Maximum des Einflusses ausüben.** Gesetzt man habe eine Scheibe in rothe und blaue Sectoren getheilt, auf die Weise, wie es Figur 66. zeigt, den rothen Sectoren eine gleichförmige Farbe gegeben, den blauen aber eine von dem Mittelpuncte aus gegen den Umfang hin stufenweise immer dunkler werdende*). Wenn man diese Scheibe mit einer hinreichenden Schnelligkeit dreht, erblickt das Auge nur concentrische violette Zonen; allein von der Mitte aus sieht man den Einfluß des Blau immer größer und größer werden, bis zu einer gewissen Zone, von welcher ab derselbe wieder nach dem Umfange hin abnimmt. Wenn demnach diese mittlere Zone ein reines Violett darbietet, zeigen alle übrigen, sowohl nach der Mitte, wie nach dem Umfange hin, ein sich immer mehr und mehr ins Rothe ziehendes Violett. Die blaue Farbe, welche dieser mittlern Zone entspricht, erzeugt also einen Eindruck, welcher, bei seiner Combination mit dem des Rothen, einen größern Einfluß hat als die blässeren oder dunkleren Farben. Sonderbar ist es, daß gerade dies Blau zu den blassen gehört; es ist die Farbe des Himmels an seinen dunkelsten Stellen.

Das Roth zeigt eine durchaus ähnliche Erscheinung, und seine **Maximum-Tinte** ist verhältnißmäßig eben so blaß wie des Blau. Das Gelb scheint eine Ausnahme zu machen; es wirkt um so stärker auf die anderen Eindrücke, als es intensiver ist.

Nur das Gelb, Roth und Blau sind von dem Verfasser diesen Versuchen unterworfen worden, doch hält er es für wahrscheinlich, daß alle übrigen Farben, die aus der Vermengung dieser entstehen können, analoge Resultate geben.

Sobald eine Farbe ihre **Maximum-Tinte** in Bezug auf eine andere Farbe erreicht hat, so behält diese Farbe das Maximum dieses Einflusses, wie dunkel auch die andere Farbe sei; wenigstens zeigte dies die geringe Zahl von Versuchen, die der Verfasser hierüber anstellte. So behält dasjenige Blau, welches das Maximum in Bezug auf ein gewisses Roth besitzt, dieses Übergewicht gegen jedes dunklere oder hellere Roth. Dies ist leicht nachzuweisen, wenn man, für jedes Farbenpaar, mehrere Scheiben auf ähnliche Weise wie Figur 66. bemalt, jedoch so, daß man die abgestuften Sectoren auf allen Scheiben einander völlig gleich macht, die Sectoren aber, welche, wie in der erwähnten Figur die rothen, einen

*) Die Querlinien in den blauen Sectoren der genannten Figur scheiden die verschiedenen Abstufungen des Blaues, welche durch die Buchstaben a, b, c, d, e, f, g bezeichnet sind; a ist das blässeste, g das dunkelste Blau.

gleichförmigen Farbenton erhalten, auf jeder Scheibe hinsichtlich der Intensität der Farbe verschieden. Setzt man diese Scheiben in Bewegung, so sieht man, daß die Zone, welche dem Maximum entspricht, auf jeder Scheibe denselben Platz einnimmt.

Endlich wäre noch zu untersuchen, ob die Maximum-Tinte einer Farbe in Bezug auf eine andere immer dieselbe bleibt, von welcher Natur auch letztere sei; z. B. ob die Tinte des Rothen, welche das Maximum gegen das Blau besitzt, auch gegen das Gelb, Grün ꝛc. am kräftigsten wirke. So viel wenigstens erklärt der Verfasser gefunden zu haben, daß das Blau diese Eigenschaft gegen das Roth und gegen das Gelb besitzt.

### Optische Täuschungen, durch Drehung von Rädern, Stäben ꝛc. hervorgebracht.

Roget *) scheint der erste gewesen zu sein, der auf eine besondere Art der nachfolgends zu beschreibenden optischen Täuschungen, welche von der Dauer des im Auge zurückbleibenden Lichteindruckes abhängen, aufmerksam gemacht hat. Unter einem allgemeinern Gesichtspuncte sind sie nachher von Plateau **) untersucht worden, und endlich hat neuerdings Faraday ***) mehrere besondere Formen und bequeme Arten ihrer Hervorbringung beschrieben.

Beobachtungen von Roget. Die von Roget beschriebene optische Täuschung besteht in Folgendem:

Betrachtet man durch eine Reihe verticaler Öffnungen, z. B. durch die Zwischenräume eines Gitters, das Rad eines auf dem Boden mit großer Geschwindigkeit dahin rollenden Wagens, so unterscheidet man nicht mehr die sich drehenden Speichen, sondern statt deren unbewegliche Curven auf der Fläche des Rades. Die Form dieser Curven sieht man in Figur 57.

Folgendes sind die näheren Umstände dieser Erscheinung, wie sie sich aus Roget's Beobachtungen ergeben:

1) Ein gewisser Grad von Schnelligkeit ist dem Rade nöthig, wenn es die eben beschriebene Täuschung hervorbringen soll. Theilt man ihm eine allmälig wachsende Geschwindigkeit mit, so ist zuerst an den horizontal liegenden Speichen eine Krümmung wahrzunehmen; und sobald diese beobachtet ist, erzeugt eine geringe Vergrößerung in der Geschwindigkeit des Rades plötzlich die Krümmung aller zur Seite liegenden Speichen. Der Grad der Krümmung bleibt genau derselbe, wie zu Anfange, wie sehr man auch die Geschwindigkeit des Rades vergrößern mag; vorausgesetzt nur, sie sei nicht so groß, daß das Auge verhindert werde, die Speichen

*) Ann. of Phil. Aug. 1825. p. 107 oder Pogg. V. 93.

**) Pogg. XX. 319.

***) Journ. of the royal Inst. Nr. 2. p. 205, 334; oder Froriep's Notizen Nr. 1. und 2. des XXXI. Bandes; oder Baumg. Zeitschr. X. 80; oder im Auszuge in Pogg. XXII. 601.

bei ihrem Fortrollen deutlich zu verfolgen. Denn es ist klar, die Geschwindigkeit der Umdrehung könnte so groß sein, daß die Speichen nicht mehr sichtbar wären. Noch ist zu bemerken, daß, wie schnell auch das Rad sich umdrehen mag, dennoch jede einzelne Speiche während des Momentes, worin sie betrachtet wird, zu ruhen scheint.

2) Die Anzahl der Speichen im Rade macht keinen Unterschied in dem Grade der Krümmung, welchen sie zeigen.

3) Die Krümmung läßt sich mit größerer Vollkommenheit sehen, wenn die Zwischenräume der Stäbe, durch welche man das Rad beschaut, enge sind; vorausgesetzt nur, daß sie die Weite haben, die nöthig ist, um nach einander alle Theile des Rades bei dessen Fortollen deutlich sehen zu können. Aus demselben Grunde wird die Erscheinung am besten wahrgenommen, wenn die Stäbe eine dunkle Farbe haben oder schattirt (shaded) sind, und ein lebhaftes Licht auf das Rad geworfen ist. Auf gleiche Weise wird die Täuschung durch jeden Umstand unterstützt, der dahin wirkt, die Aufmerksamkeit von den Stäben auf das Rad zu lenken und daselbst zu befestigen.

4) Wird die Anzahl der Stäbe in dem nämlichen gegebenen Raume vergrößert, so hat dies weiter keinen Unterschied zur Folge, als daß die gekrümmten Bilder der Speichen vervielfältigt werden. Wenn aber ein gewisses Verhältniß aufrecht gehalten wird zwischen den Gesichtswinkeln, unter welchen der ganze Zwischenraum der Stäbe und die Extremitäten der Speichen am Auge erscheinen, so wird die Vervielfältigung dieser Bilder berichtigt (corrected). Der Abstand des Rades von den Stäben ist von keinem Einfluß, sobald nur die letzteren dem Auge nicht sehr nahe sind; in diesem Falle möchten die Öffnungen zwischen den Stäben gestatten, einen zu großen Theil des Rades auf einmal zu übersehen.

5. Wenn die Stäbe, statt vertical zu stehen, gegen den Horizont geneigt sind, so erfolgen im Allgemeinen dieselben Erscheinungen, jedoch mit dem Unterschiede, daß es die mit den Stäben parallel liegenden Speichen sind, die keine scheinbare Krümmung besitzen, während die Krümmungen der übrigen Speichen in denselben Beziehungen zu diesen gerade erscheinenden Speichen stehen, wie in dem vorhergehenden Falle. Ist jedoch die Neigung der Stäbe beträchtlich, so werden die Bilder mehr zusammengedrängt und die Deutlichkeit der Erscheinung wird dadurch verringert. Die Täuschung hört gänzlich auf, wenn das Rad durch Stäbe betrachtet wird, die parallel mit der Richtung seiner (fortschreitenden) Bewegung liegen.

6) Zur Erzeugung dieser Erscheinung ist es wesentlich, daß eine fortschreitende Bewegung, mit einer drehenden vereinigt, Statt findet. So stellt sie sich nicht ein, wenn die Stäbe still stehen und das Rad sich bloß um seine Axe dreht, ohne dabei zugleich fortzurücken, auch nicht, wenn es sich ohne Drehung horizontal fortbewegt. Auf der andern Seite nehmen die Speichen sogleich ein gekrümmtes Ansehen an, wenn den Stäben eine fortschreitende Bewegung gegeben ist, während sich das Rad um seine

gleichförmigen Farbenton erhalten, auf jeder Scheibe hinsichtlich der Intensität der Farbe verschieden. Setzt man diese Scheiben in Bewegung, so sieht man, daß die Zone, welche dem Maximum entspricht, auf jeder Scheibe denselben Platz einnimmt.

Endlich wäre noch zu untersuchen, ob die Maximum-Tinte einer Farbe in Bezug auf eine andere immer dieselbe bleibt, von welcher Natur auch letztere sei; z. B. ob die Tinte des Rothen, welche das Maximum gegen das Blau besitzt, auch gegen das Gelb, Grün ꝛc. am kräftigsten wirke. So viel wenigstens erklärt der Verfasser gefunden zu haben, daß das Blau diese Eigenschaft gegen das Roth und gegen das Gelb besitzt.

### Optische Täuschungen, durch Drehung von Rädern, Stäben ꝛc. hervorgebracht.

Roget *) scheint der erste gewesen zu sein, der auf eine besondere Art der nachfolgends zu beschreibenden optischen Täuschungen, welche von der Dauer des im Auge zurückbleibenden Lichteindruckes abhängen, aufmerksam gemacht hat. Unter einem allgemeinern Gesichtspuncte sind sie nachher von Plateau **) untersucht worden, und endlich hat neuerdings Faraday ***) mehrere besondere Formen und bequeme Arten ihrer Hervorbringung beschrieben.

Beobachtungen von Roget. Die von Roget beschriebene optische Täuschung besteht in Folgendem:

Betrachtet man durch eine Reihe verticaler Öffnungen, z. B. durch die Zwischenräume eines Gitters, das Rad eines auf dem Boden mit großer Geschwindigkeit dahin rollenden Wagens, so unterscheidet man nicht mehr die sich drehenden Speichen, sondern statt deren unbewegliche Curven auf der Fläche des Rades. Die Form dieser Curven sieht man in Figur 57.

Folgendes sind die näheren Umstände dieser Erscheinung, wie sie sich aus Roget's Beobachtungen ergeben:

1) Ein gewisser Grad von Schnelligkeit ist dem Rade nöthig, wenn es die eben beschriebene Täuschung hervorbringen soll. Theilt man ihm eine allmälig wachsende Geschwindigkeit mit, so ist zuerst an den horizontal liegenden Speichen eine Krümmung wahrzunehmen; und sobald diese beobachtet ist, erzeugt eine geringe Vergrößerung in der Geschwindigkeit des Rades plötzlich die Krümmung aller zur Seite liegenden Speichen. Der Grad der Krümmung bleibt genau derselbe, wie zu Anfange, wie sehr man auch die Geschwindigkeit des Rades vergrößern mag; vorausgesetzt nur, sie sei nicht so groß, daß das Auge verhindert werde, die Speichen

*) Ann. of Phil. Aug. 1825. p. 107 oder Pogg. V. 93.

**) Pogg. XX. 319.

***) Journ. of the royal Inst. Nr. 2. p. 205, 334; oder Froriep's Notizen Nr. 1. und 2. des XXXI. Bandes; oder Baumg. Zeitschr. X. 90; oder im Auszuge in Pogg. XXII. 601.

bei ihrem Fortrollen deutlich zu verfolgen. Denn es ist klar, die Geschwindigkeit der Umdrehung könnte so groß sein, daß die Speichen nicht mehr sichtbar wären. Noch ist zu bemerken, daß, wie schnell auch das Rad sich umdrehen mag, dennoch jede einzelne Speiche während des Momentes, worin sie betrachtet wird, zu ruhen scheint.

2) Die Anzahl der Speichen im Rade macht keinen Unterschied in dem Grade der Krümmung, welchen sie zeigen.

3) Die Krümmung läßt sich mit größerer Vollkommenheit sehen, wenn die Zwischenräume der Stäbe, durch welche man das Rad beschaut, enge sind; vorausgesetzt nur, daß sie die Weite haben, die nöthig ist, um nach einander alle Theile des Rades bei dessen Fortollen deutlich sehen zu können. Aus demselben Grunde wird die Erscheinung am besten wahrgenommen, wenn die Stäbe eine dunkle Farbe haben oder schattirt (shaded) sind, und ein lebhaftes Licht auf das Rad geworfen ist. Auf gleiche Weise wird die Täuschung durch jeden Umstand unterstützt, der dahin wirkt, die Aufmerksamkeit von den Stäben auf das Rad zu lenken und daselbst zu befestigen.

4) Wird die Anzahl der Stäbe in dem nämlichen gegebenen Raume vergrößert, so hat dies weiter keinen Unterschied zur Folge, als daß die gekrümmten Bilder der Speichen vervielfältigt werden. Wenn aber ein gewisses Verhältniß aufrecht gehalten wird zwischen den Gesichtswinkeln, unter welchen der ganze Zwischenraum der Stäbe und die Extremitäten der Speichen am Auge erscheinen, so wird die Vervielfältigung dieser Bilder berichtigt (corrected). Der Abstand des Rades von den Stäben ist von keinem Einfluß, sobald nur die letzteren dem Auge nicht sehr nahe sind; in diesem Falle möchten die Öffnungen zwischen den Stäben gestatten, einen zu großen Theil des Rades auf einmal zu übersehen.

5. Wenn die Stäbe, statt vertical zu stehen, gegen den Horizont geneigt sind, so erfolgen im Allgemeinen dieselben Erscheinungen, jedoch mit dem Unterschiede, daß es die mit den Stäben parallel liegenden Speichen sind, die keine scheinbare Krümmung besitzen, während die Krümmungen der übrigen Speichen in denselben Beziehungen zu diesen gerade erscheinenden Speichen stehen, wie in dem vorhergehenden Falle. Ist jedoch die Neigung der Stäbe beträchtlich, so werden die Bilder mehr zusammengedrängt und die Deutlichkeit der Erscheinung wird dadurch verringert. Die Täuschung hört gänzlich auf, wenn das Rad durch Stäbe betrachtet wird, die parallel mit der Richtung seiner (fortschreitenden) Bewegung liegen.

6) Zur Erzeugung dieser Erscheinung ist es wesentlich, daß eine fortschreitende Bewegung, mit einer drehenden vereinigt, Statt findet. So stellt sie sich nicht ein, wenn die Stäbe still stehen und das Rad sich bloß um seine Axe dreht, ohne dabei zugleich fortzurücken, auch nicht, wenn es sich ohne Drehung horizontal fortbewegt. Auf der andern Seite nehmen die Speichen sogleich ein gekrümmtes Ansehen an, wenn den Stäben eine fortschreitende Bewegung gegeben ist, während sich das Rad um seine

Da die beiden hellen Streifen sich bei ihrer Bewegung successiv längs der ganzen Linie mrn schneiden, so kann ein jeder Punct letzterer Linie nur den Eindruck von dem Streifen, der dem Auge des Beobachters zugekehrt ist, ins Auge senden, während alle übrigen Puncte des Vierseits mpqn, da in ihnen die beweglichen Streifen nie anders als nach einander anlangen, stets zwei successive Eindrücke ins Auge senden. Die Linie mrn, so wie die ganze Folge der Durchschnittspuncte, muß demnach weniger hell, als das ganze übrige Vierseit erscheinen. Da nun die Geschwindigkeit des einen Streifens ein Multiplum von der des andern ist, so werden beide, nachdem der Streifen mit geringerer Geschwindigkeit einen Umlauf gemacht hat, in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren, und die Erscheinung wird sich wiederholen. Es muß also daraus ein festes Bild entstehen, welches so lange verweilt, als die Bewegung der beiden Streifen dauert. Übrigens muß diese Bewegung, wie leicht einzusehen, so rasch sein, daß das Auge die sich drehenden Streifen nicht unterscheiden kann.

Es folgt aus dieser Erklärung, daß diese Erscheinung sich noch erzeugen wird, wenn der vordere Streifen, statt hell zu sein, schwarz ist; denn dieser schwarze Streifen wird an allen Puncten der Durchschnittslinie das von dem hellen Streifen herkommende Licht auffangen, während alle übrigen Puncte die von letzterm Streifen erzeugten Eindrücke ins Auge senden. Dies wird auch von der Erfahrung vollkommen bestätigt; die festen Streifen sind sogar deutlicher auf diesem Wege als auf dem ersten.

Der vordere Streifen kann auch in einer schwarzen Fläche ausgeschnitten sein, und wenn dann der hintere Streifen beleuchtet ist, erscheint das feste Bild heller als der Grund, auf welchem es sich zeigt. Diese Erscheinung muß auf gleiche Weise wie die von Roget beschriebene erklärt werden.

Wenn die Geschwindigkeit des einen Streifens kein genaues Multiplum von der des andern ist, so kommen die beiden Streifen, nachdem die langsamere einen Umlauf gemacht hat, nicht wieder in ihre ursprünglichen Lagen zurück, und da sich dadurch nach jedem dieser Umläufe ein neuer Streifen erzeugt, so sieht das Auge nicht das Bild einer festen Linie, sondern eine rasche Folge verschiedener Linien. Wenn indeß die größere Geschwindigkeit nur sehr wenig von einem Multiplum der kleinern abweicht, so wird der Unterschied zwischen zwei einander folgenden Bildern sehr unbeträchtlich sein und das Auge nicht mehr eins von dem andern unterscheiden können; das Spectrum wird dann nach und nach seine Gestalt ändern und in alle die Formen übergehen, welche aus einer Verschiedenheit der ursprünglichen Lagen entspringen können. Es ist keine der uninteressantesten Eigenthümlichkeiten der Erscheinung, daß wir hiedurch Übergänge von Curven erhalten, die oft keine Ähnlichkeit mit einander haben; Übergänge, die

ren Durchschnittspuncte als ein Streifen von einer gewissen Breite erscheinen müssen.

man nach Belieben verlangsamen kann, sobald die Einrichtung des Instrumentes es erlaubt, das Verhältniß der Geschwindigkeiten um sehr kleine Unterschiede abzuändern*).

Kennt man die beweglichen Streifen, das Verhältniß ihrer Geschwindigkeiten, die Richtung eines jeden desselben, den scheinbaren Abstand der Bewegungsmittelpuncte und die ursprünglichen Lagen der Streifen, so ist der feste Streifen völlig bestimmt und die Gleichung für denselben leicht aufzufinden. Der Verfasser beschränkt sich jedoch darauf, beispielsweise bloß einige bekannte Curven aufzuführen, welche aus der Kreuzung zweier, durch ihre Drehpuncte gehenden, geraden Linien oder Streifen entstehen.

1) Wenn die Geschwindigkeiten gleiche Richtung haben und im Verhältniß 1 : 2 stehen, so ist die feste Curve eine Focale**), welche ihren Scheitel im Drehpuncte der schnellern Linie, und ihren Vielfachspunct im Drehpuncte der andern hat. Diese Focale wird ein Kreis, durchzogen von einer geraden Linie, sobald die beiden beweglichen Geraden in ihren ursprünglichen Lagen einander decken.

2) Sind die Geschwindigkeiten gleich und von gleicher Richtung, so ist die feste Curve ein Kreis, der durch die beiden Drehpuncte geht.

*) Dies geschieht leicht, wenn man die Streifen durch Rollen in Bewegung setzt, deren Durchmesser man um eine kleine Größe ändern kann, wenn man die Spannung der Schnur etwas ändert. Das Verhältniß der Geschwindigkeiten kann dadurch so wenig als man will vergrößert oder verringert werden.

**) Zur nähern Bestimmung dessen, was man unter Focale versteht, Folgendes (Pogg. XX. 543):

Man denke sich einen Kegel zweiten Grades von einer durch seine Axe gelegten Ebene durchschnitten. Die Durchschnittsfläche wird von zwei sich in dem Scheitelpuncte schneidenden Geraden begränzt sein. Durch irgend einen Punct einer dieser Geraden sei eine Reihe von Ebenen senkrecht gegen den genannten Schnitt gelegt. Eine jede dieser Ebenen schneidet den Kegel nach einer Curve zweiten Grades, die im Allgemeinen zwei Brennpunkte hat. Die Gesammtheit dieser Brennpuncte bildet eine ebene Curve, und diese ist es, welche man Focale, Curva focalis, Brennpunctlinie, genannt hat.

Folgendes ist, nach der Entwickelung von v. Rees, die Gleichung der Focale:

$$(ay - bx + 2ab)(x^2 + y^2) - c^2(ay + bx) = 0$$

Hierin sind x, y, z rechtwinkliche Coordinaten, und die beiden ersten liegen in der Ebene des genannten Schnittes, die Axe der x fällt mit der Axe des Kegels zusammen, und der Anfangspunct mit dem Scheitel desselben. a ist die in jenem Schnitte liegende halbe Axe derjenigen Ellipse, deren Ebene die Kegelaxe senkrecht schneidet; c die andere, der z parallele, halbe Axe dieser Ellipse; b endlich der Abstand des Mittelpunctes dieser Ellipse vom Scheitelpuncte des Kegels.

Unter den Eigenschaften der Focale des geraden Kegels verdient in physikalischer Hinsicht vielleicht die folgende am meisten Interesse. Die Focale ist der Ort der Puncte, wo ein Lichtpunct auf einer Reihe concentrischer Kreise reflectirt erscheint, wenn das Auge sich außerhalb der Geraden befindet, die vom Lichtpuncte zum gemeinschaftlichen Mittelpuncte der Kreise gezogen wird.

5) Sind die Geschwindigkeiten gleich, aber von ungleicher Richtung, so ist das feste Bild eine Hyperbel, welche durch die beiden Drehpuncte geht.

Man kann das feste Bild und eine der beweglichen Curven als gegeben annehmen, in welchem Falle man dann durch eine sehr einfache geometrische Construction die andere findet. Nichts hindert uns aber als feststehendes Bild irgend eine Figur zu nehmen, z. B. den Kopf eines Menschen, ein Wort 2c.; alsdann erhält man durch die besagte Construction eine ungestaltete Figur, die, wenn sie gleichzeitig mit der gegebenen Curve umgedreht wird, ein vollkommen regelmäßiges Bild hervorbringt.

Hier hat man demnach eine Art ganz neuer Anamorphosen. Wenn diese vollständig gelingen sollen, muß die mißgestaltete Figur schwarz sein und sich vor einer weißen Curve drehen, oder, wenn man sie weiß nehmen will, muß die letztere in einer schwarzen Fläche ausgeschnitten sein. Im ersten Falle erhält man das regelmäßige Bild schwarz auf einem weißlichen Grunde, im letztern weißlich auf einem schwarzen Grunde.

Beobachtungen von Faraday. Die von Faraday beschriebenen Erscheinungen bilden einen besondern Fall von denen, welche Plateau betrachtet hat. Statt daß nämlich jener seine Untersuchungen auf die Gesammtheit aller Trugbilder ausdehnt, die aus den scheinbaren Durchschnittspuncten irgend zweier schnell herumgedrehten Linien entspringen, schränkt sich Faraday auf diejenigen ein, welche durch die Speichen oder Zähne zweier verticalen Räder hervorgebracht werden. Es mag, da nach Kenntniß der Plateau'schen Untersuchungen der größte Theil der Faraday'schen kein neues Interesse gewährt, genügen, hier den Apparat zu beschreiben, welchen Faraday erdacht hat, diese interessanten Erscheinungen, welche sich so häufig bei Betrachtung von Räderwerken darbieten, leicht und ohne Kosten hervorzurufen.

Ein etwas dickes Bretchen steht senkrecht auf einem Fuß und ist, wie Figur 59. zeigt, so ausgeschnitten, daß es drei Ständer bildet, welche mittelst kleiner, aus Kupferblech geschnittener Pfannen, von der Form wie Figur 60., die Stahlaxen der beiden verticalen Sternräder tragen. Jede dieser, in einer Linie liegenden Axen trägt außer dem Rade ein Röllchen, das sich mit einiger Reibung hin- und herschieben läßt. Mittelst dieser Rollen wird den beiden Rädern durch die dazwischen liegende horizontale Scheibe eine entgegengesetzte Rotation mitgetheilt. Diese, etwa 4 Zoll im Durchmesser haltende Scheibe, obwohl sie sich um eine in den mittlern Pfeiler eingelassene Verticalaxe dreht, ruht nämlich mit ihrer untern, mit Sandpapier überzogenen, Fläche auf den Rollen. So wie also die Scheibe, entweder an ihrer Axe mit den Fingern, oder mittelst der auf die Axe geschobenen Rollen durch eine Schnur, in Umdrehung gesetzt wird, drehen sich auch die Räder in entgegengesetzter Richtung mit Geschwindigkeiten, die man durch Hin- und Herschieben der Rollen auf den horizontalen Axen innerhalb einer gewissen Gränze in jedes beliebiges Verhältniß zu einander bringen, auch vergrößern und verringern kann.

Um den Rädern eine Bewegung in gleicher Richtung zu ertheilen, ist unten im Brett ein Ausschnitt gemacht, bestimmt zur Aufnahme einer Walze, über welche und die Rollen dann endlose Schnüre gezogen werden. Dreht man nun die Walze, nachdem die Scheibe fortgenommen ist, so rotiren auch die Räder in gleichem Sinne.

Die Räder werden aus weißer Kartenpappe geschnitten, etwa von 7 Zoll im Durchmesser und mit einer beliebigen Zahl von Zähnen versehen.

Die mit diesem Apparate hervorzubringenden Erscheinungen sind nun hauptsächlich folgende. Dreht man die Räder mit gleicher und entgegengesetzter Geschwindigkeit, und stellt das Auge so, daß man beide frei neben einander sieht, so nimmt man nur einen gleichförmigen Schleier wahr. Ist das Auge aber in die Verlängerung der Axe dieser Räder gebracht, so erblickt man sogleich das feststehende Bild eines Rades mit doppelt so vielen Zähnen, als jedes der rotirenden Räder für sich besitzt. Ist die Geschwindigkeit beider Räder ungleich, so steht das Bild nicht mehr still, sondern dreht sich in Richtung des Rades mit der größern Geschwindigkeit. Steht das Auge außerhalb der Axe der Räder, aber noch so, daß diese sich theilweise decken, so erblickt man ein krummliniges Trugbild von mannichfaltiger Gestalt.

Es mag noch erwähnt werden, daß man diese Erscheinungen auch mit einem Rade und seinem Schatten oder seinem Bilde in einem Spiegel darstellen kann, sobald man das Auge so stellt, daß es das Rad beim Rotiren seinen Schatten oder sein Spiegelbild schneiden sieht. Nach der Stellung des Auges und nach der Lage der schattenfangenden Ebene oder des Spiegels sind natürlich die Gestaltungen der Trugbilder verschieden.

Was die Erklärung dieser Erscheinungen betrifft, so ist die von Faraday gegebene durchaus einerlei mit der vorhin auseinandergesetzten von Plateau.

## Optische Täuschung beim Fahren auf der Eisenbahn zwischen Liverpool und Manchester *).

Die Eisenbahn ist doppelt, so daß man von den Fenstern einer auf der einen Bahn fahrenden Kutsche die andere sehen kann, wobei man Folgendes wahrnimmt:

Wenn man 12 bis 15 (englische) Meilen die Stunde reist, so scheint der gewöhnliche Weg, die Ufer und die übrigen Gegenstände, wie wenn man in der gewöhnlichen Postkutsche fährt, sich rückwärts oder nach der entgegengesetzten Richtung als die Postkutsche zu bewegen; legt man aber in der Stunde 24 bis 30 Meilen zurück, so scheint die benachbarte Eisenbahn sich mit der Geschwindigkeit des Eilwagens in derselben Richtung wie dieser fortzubewegen. Diese, durch verschiedene Geschwindigkeiten ver-

*) Journ. of the royal Instit. of Great Britain Nr. III. May. 1831. oder Froriep's Notiz. Nr. 9. des XXXI. Bandes S. 137.

veranlaßte, verschiedene Art des Ansehens beruht auf dem Umstande, daß die eisernen Gleise nicht vollkommen glatt sind, sondern stellenweis geringe Unebenheiten darbieten, welche bei mäßiger Geschwindigkeit sichtbar sind und dem Gleise das Ansehen des Zurückweichens geben; dagegen bei verdoppelter Geschwindigkeit diese Unregelmäßigkeiten nicht mehr einzeln vom Auge unterschieden werden können, so daß das Gleis sich so ausnimmt, als ob es gar keine Unregelmäßigkeiten hätte, während die größeren Unregelmäßigkeiten des gewöhnlichen Weges und des Ufers nicht dadurch verwischt werden können. In Bezug auf deren fortdauernde scheinbar rücklaufende Bewegung scheint daher jetzt das Gleis eine vorwärtslaufende zu haben.

## Über die subjectiven Complementärfarben.

Lehot *) hat über die subjectiven Gesichtserscheinungen, welche durch das Fixiren des Auges auf gefärbte Felder hervorgebracht werden, interessante Beobachtungen gemacht, aus welchen mehrere bisher zum Theil noch unbekannte Bestimmungen dieser Phänomene hervorgehen, durch die er sich veranlaßt findet, statt der gewöhnlichen (Scherffer'schen) Erklärungsweise dieser Erscheinungen, nach welcher das Auge durch längeres Betrachten einer Farbe unempfindlich dafür wird, eine andere aufzustellen, die wir, nach Anführung seiner Beobachtungen selbst, mittheilen werden.

1) Wenn man, nachdem man ein rothes Feld starr angesehen, die Augen nach einem schwarzen Grunde wendet, so sieht man ein grünes Feld, dessen Farbe aber ins Schwärzliche zieht.

Lehot glaubt, daß dies Resultat in Widerspruch mit der Scherffer'schen Theorie stehe, in sofern sich hier das grüne Feld auch auf schwarzem Grunde darstellt, welcher kein weißes Licht zurückstralt. Indeß würde sich hierauf wohl mit Fug entgegnen lassen, daß von den scheinbar schwarzen Körpern doch immer noch eine gewisse Quantität weißes Licht in das Auge zurückgeworfen wird, da wir schwerlich ein absolutes Schwarz kennen.

2) Wenn man, nachdem man das rothe Feld fixirt hat, die Augen auf einen farbigen Grund richtet, so ist die Farbe des secundären Feldes aus der Ergänzungsfarbe des Rothes und der Farbe des Grundes zusammengesetzt.

Wenn man z. B. ein gelbes Feld fixirt hat und hierauf einen grünen Grund erblickt, so erscheint die Farbe des secundären Feldes aus Violett und Grün zusammengesetzt. — Diese Thatsache war schon früher bekannt, sie wurde aber nach der Scherffer'schen Theorie folgendermaßen ausgespro-

*) Froriep's Notiz. Nr. 12. des XXVIII. Bandes S. 177 aus den Annal. des sc. d'observ. par Saigey et Raspail. III. p. 3 Mars. 1830.

chen: das auf dem farbigen Grunde gesehene Feld wird die Farbe des Grundes, nach Abzug der Farbe des primären Feldes, haben.

3) Wenn man ein rothes Feld fixirt hat, und den Blick hierauf gegen einen weißen Grund wendet, so sieht man ein grünes Feld, welches aber kleiner, eben so groß oder größer als das rothe Feld erscheint, je nachdem das weiße Papier, welches man ansieht, dem Auge näher, in gleichem oder in größerem Abstande von demselben ist, als das rothe Feld.

Dieser Umstand, daß die Größe des secundären Bildes sich mit dem Abstande des Grundes verändert, scheint von Lehot zuerst wahrgenommen worden zu sein.

4) Man lege ein rothes rundes Feld auf einen weißen Grund, und nachdem man es lange mit einem einzigen Auge fixirt hat, nähere man dieses Auge der rothen Scheibe, so wird man auf der letztern eine zweite rothe Scheibe, aber von weit weniger dunkler Färbung sehen, und diese zweite Scheibe wird um so kleiner werden, je mehr sich das Auge der ersten nähert.

Diese blaßrothe Scheibe durchläuft dieselben Größengrade, wie die auf dem weißen Grunde erscheinende grüne Scheibe (siehe 3)), wovon sich Lehot durch Messen beider, bei gleichem Abstande des Auges von der Ebene, auf der sich die Scheiben darstellten, überzeugte.

Hieraus ergiebt sich, mit Bezug auf 3), daß, wenn man einen farbigen Körper fixirt, die Farbe desselben binnen einer gewissen Zeit immer blässer erscheinen wird. Dies Resultat scheint der Scherffer'schen Theorie in der That zu widersprechen, denn nach ihr müßte die Farbe des Körpers immer dunkler werden, während sie vielmehr weißer erscheint. Sie wird in der That auch nach Lehot nach langer Zeit wieder dunkler, ja noch dunkler als im Anfange, vermöge Ermüdung des Auges; allein immer läßt sich nach der Scherffer'schen Theorie nicht erklären, warum während der ersten Zeit des Versuches die Farbe heller erscheint.

5) Wenn man, statt das Auge der rothen Scheibe zu nähern, dasselbe entfernt, so sieht man jene Scheibe von einem grünen Rande umgeben, und wenn man den äußern Durchmesser des letztern mißt, so findet man ihn dem Durchmesser der grünen Scheibe, welche auf einem weißen Grunde erscheint, gleich, wenn die Entfernung des Auges dieselbe bleibt.

Man kann nicht läugnen, daß namentlich das Resultat 4) sehr dafür spricht, daß das secundäre Grün, welches auf weißem Grunde nach Betrachtung von Roth erscheint, anstatt durch eingetretene Unempfindlichkeit des Auges gegen das Roth in weißem Lichte hervorgebracht zu werden, vielmehr von einer selbstständigen Entwickelung der Empfindung des Grün

im Auge herrschet, da das Roth selbst noch während der Betrachtung desselben sich annäherungsweise zu Weiß neutralisirt (verblaßt), was nicht durch Unempfindlichkeit dagegen, wo Dunklerwerden der Farbe entstehen müßte, erklärt werden kann. In der That ist Lehot's Erklärung, die er an vorstehende Thatsachen knüpft, folgende:

Der Eindruck, den die Empfindung einer gewissen Farbe im Auge hervorbringt, modificirt sich von selbst in der Art, daß nach einiger Zeit die Empfindung der Ergänzungsfarbe zur Perception gelangt. Dieser modificirte Eindruck dauert nicht nur so lange als der primäre, sondern auch noch eine Zeit lang, nachdem dieser, in Folge des Verschwindens des ihn hervorbringenden Körpers, aufgehört hat.

Der Verfasser versucht nicht zu erklären, wie der primäre Eindruck die Entstehung des secundären veranlassen kann oder wie beide Eindrücke zugleich existiren können. Er knüpft aber an die hier aufgestellte Ansicht noch die Erklärung einiger anderen Thatsachen, die sich in der That sehr gut danach ergiebt, namentlich folgender:

Den Leuten, welche sich blauer oder grüner Brillen bedienen, erscheinen die Gegenstände in dem Augenblicke, wo sie dieselben vor die Augen bringen, von der Farbe der Brillen; aber bald darauf wieder beinahe mit der natürlichen Farbe. Dies erklärt sich dadurch, daß der Eindruck der blauen Strahlen, welche durch das Glas streichen, durch die Coexistenz des secundären Eindruckes, der sich von selbst erzeugt, wieder zu Weiß neutralisirt werden.

Nachdem man den Himmel mit dem rechten Auge durch ein rothes Glas betrachtet hat, bringe man zwei Streifen, z. B. von orangefarbenem Papiere, den einen in 4 bis 5 Zoll, den andern in 8 bis 20 Zoll Abstand vor die Augen. Fixirt man dann den entfernten Streifen, so sieht man den nähern doppelt, allein das im rechten Auge erzeugte Bild erscheint viel weißer als die beiden andern.

Auch den Umstand, daß wir rothe und weiße Körper bei Betrachtung durch ein rothes Glas für einerlei gefärbt halten, setzt Lehot mit seiner Ansicht in Beziehung.

## Mangelndes Unterscheidunsvermögen für gewisse Farben.

Es sind neuerdings wieder mehrere Fälle von mangelndem Unterscheidungsvermögen für Farben beobachtet worden. Beobachtungen über sich selbst und mehrere andere, die mit ihm in der Art des Nichtunterscheidungsvermögens übereinstimmten, theilt Dalton mit in Brewster's Edinb. J. of sc. 1831. July. 88. Zwei andere Fälle werden von Colquhoun im Glasgow Medic. J. und hieraus in Froriep's Notiz. XXIV. S. 305 angeführt; zwei andere von Brewster in Brewster's Edinb. J. of sc. und hieraus in Baumg. Zeitschr. VI. 232.

Die von Dalton an sich selbst beobachtete Anomalie beruht nicht ab-

lein darauf, daß im Spectrum viel weniger Farben als von Anderen unterschieden werden, sondern auch, daß gewisse Farben anders Abends bei Kerzenlicht als bei Tageslicht erscheinen, die den gewöhnlichen Augen gleich erscheinen. Diese Anomalie scheint nicht gar zu selten mit derselben Beschaffenheit vorzukommen. Denn nicht nur theilte sie Dalton's Bruder, sondern er sagt auch, er habe bei deshalb angestellten Nachforschungen ungefähr 20 Personen (darunter kein weibliches Subject) gefunden, die ganz dieselbe Anomalie des Gesichtes dargeboten, als er selbst *). So waren in einer Familie, die aus 6 Söhnen und 1 Tochter bestand, 4 von den Söhnen damit behaftet. Bloß in Einem Falle hatte sich die Anomalie vererbt. Die Augen der damit Behafteten boten übrigens nichts Bemerkenswerthes dar, und das Gesicht besaß dieselbe Deutlichkeit als bei anderen Personen; nur 2 bis 3 waren kurzsichtig. Im Allgemeinen wissen die Personen nichts von der Eigenthümlichkeit ihres Gesichtes, wenn nicht einmal eine ausdrückliche Vergleichung mit dem Gesichte anderer sie darauf hinführt; sie glauben bloß, daß in der Bezeichnung der Farben eine große Verwirrung herrscht.

Den Grund dieser Eigenthümlichkeit sucht Dalton in einer, wahrscheinlich bläulichen, Färbung irgend einer der Augenfeuchtigkeiten, und zwar wahrscheinlich des Glaskörpers, da sonst das Auge auch wohl dem äußern Ansehen diese Färbung verrathen hätte, was nicht der Fall war.

Folgendes sind die charakteristischen Eigenthümlichkeiten vom Gesichte Dalton's und der mit ihm übereinstimmenden Personen:

1) In dem Sonnenspectrum erscheinen bloß drei Farben, Gelb, Blau und Purpur. Die beiden ersten stehen in bestimmtem Contrast; die zwei letztern scheinen sich mehr in dem Grade als der Art nach zu unterscheiden.

2) Nelkenroth (pink) erscheint im Tageslichte als ein etwas verblaßtes (faded) Himmelblau; im Lampenlichte nimmt es ein orangenes oder gelbliches Ansehen an, welches in starkem Gegensatze mit Blau steht.

3) Carmoisin erscheint im Tageslichte trübe (muddy) blau, und carmoisinenes wollenes Garn erscheint fast dunkelblau.

4) Roth und Scharlach haben ein lebhafteres und feurigeres Ansehen im Kerzenlichte als im Tageslichte.

5) Es findet bei Tage kein großer Unterschied zwischen der rothen Farbe eines Stückes Siegellack und der Farbe des Grases Statt.

6) Dunkelgrünes wollenes Zeuch erscheint trübroth, viel dunkler als Gras und von sehr verschiedener Farbe.

*) Auch der, in den Philosoph. transact. 1777 erzählte, Fall von Harris stimmte, wiewohl er nach der Beschreibung sich etwas anders als Dalton's zu verhalten schien, doch wahrscheinlich damit überein, mindestens zeigte das Gesicht eines noch lebenden Bruders von Harris mit dem von Dalton ganz gleiche Eigenthümlichkeit.

7) Die Farbe einer florischen Complexion (florid complexion) ist demselben [illegible]
[illegible]) Auf Kleidungsstücken erscheinen oft Flecken, die andere keine sehen.

8) In allen Fällen, wo ein Unterschied vom Gesichte anderer Personen Statt findet, ist er viel kleiner bei Kerzen- als bei Tageslichte.

Der Verfasser specialisirt diese Anomalie des Gesichtes noch mehr in Bezug zu verschiedenen gefärbten einzelnen Gegenständen.

Die von Colquhoun und Brewster mitgetheilten Fälle stimmen mit den beschriebenen Daltonschen in den meisten Eigenthümlichkeiten überein, indem auch bei jenen fast nur Gelb und Blau, und etwa Braun, unterschieden, dagegen Grün und Roth mit Blau verwechselt wurden, worüber sich in den Originalabhandlungen nähere Bestimmungen finden, die zu ausführlich sind, um sie hier ausführlich mitzutheilen *).

Die wesentliche Übereinstimmung der von Colq. angeführten Fälle mit den Daltonschen wird noch wahrscheinlicher dadurch, daß Colq. auch den Umstand anführt, die Farben seien durch Kerzenlicht sehr modificirt worden.

Besondere Erwähnung aber verdient einer der beiden, von Brewster angeführten, Fälle, in welchem sich zwar auch alle Farben auf Gelb und Blau reducirten, überdies aber noch die Eigenthümlichkeit Statt fand, daß dasjenige, welches dem gesunden Auge als Weiß erscheint, von der betreffenden Person unter Umständen wirklich weiß, oder weiß mit einem Stich in Blau und Gelb, oder auch gerade Blau erschien, was sich ergab, als man diese Person die Farben beurtheilen ließ, welche polarisirtes Licht beim Hindurchgehen durch ein Glimmerblättchen (mit Hülfe von Turmalin) erzeugt.

*) Einige interessante Beispiele der Verwechselung mögen indeß hier angeführt werden. Das eine der von Colquhoun angeführten Individuen konnte ein Stück rothes Siegellack, welches ins Gras geworfen worden, oder ein Stück Scharlachtuch auf einem Zaune nicht erkennen, wenn es nicht ganz nahe daran war. Eine auf einem rothen Dache wachsende grüne Flechte hielt er für gleichfarbig mit dem Dache, ein blaues Kleid für gleichfarbig mit einem rothen. — Die andere der von ihm erwähnten Personen erkannte im Regenbogen bloß Gelb und Blau, hielt das Gras für gleichfarbig mit einem rothen Dache ꝛc. —

Auch die beiden, von Brewster angeführten, Personen unterschieden nur Gelb und Blau im Sonnenspectrum oder Regenbogen.

## XII. Über die gewöhnliche oder geradlinige Polarisation.

### Verschiedene Resultate über die Polarisation durch Zurückwerfung und Brechung, und das Verhalten polarisirter Stralen bei Zurückwerfung und Brechung, für durchsichtige, einfach brechende Körper.

Durch theoretische Erörterungen Fresnel's (Pogg. XXII. 68, 90) und Versuchsbewährungen Brewster's (Pogg. XIX. 259, 281, 518) ist man neuerdings zur Feststellung mehrerer Formeln in Bezug auf die hier zu betrachtenden Umstände gelangt, von denen einige des Zusammenhanges halber schon S. 295 mitgetheilt worden sind, und von denen wir die übrigen, nebst den Versuchsbelegen, in den folgenden Artikeln hinzufügen werden*). Hier mögen diejenigen Resultate vorangestellt werden, welche sich einfach durch Worte oder mit Zuziehung weniger mathematischer Zeichen ausdrücken lassen. Diese Resultate gelten für einfach brechende durchsichtige Körper.

1) Ein auf eine durchsichtige Fläche auffallender natürlicher Stral verhält sich in allen Stücken wie ein solcher, der aus zwei Bündeln von gleicher Intensität zusammengesetzt ist, die rechtwinklich gegen einander und jeder um 45° (zu beiden Seiten) gegen die Einfallsebene polarisirt sind. Man kann daher alle Formeln, die für polarisirtes Licht gelten, auf gewöhnliches Licht anwenden, wenn man in den für das polarisirte Licht geltenden Formeln den Winkel der Polarisationsebene mit der Einfallsebene = 45° oder die Tangente dieses Winkels = 1 setzt.

2) Nach einer von Brewster aufgestellten, und sich in den Erscheinungen bewährenden, Vorstellung verhält sich ein durch Zurückwerfung (unter andern Winkeln als dem Polarisationswinkel) oder durch Brechung unvollkommen polarisirter Stral in allen Stücken wie ein, aus zwei gleichen Bündeln bestehender Stral, deren Polarisationsebenen zu beiden Seiten einen gleichen Winkel mit der Zurückwerfungs- oder Brechungsebene machen, der aber kleiner oder größer ist als 45°, kleiner im Fall der Zurückwerfung, größer im Fall der Brechung. Die unvollkommene Polarisation nähert sich der vollkommenen um so mehr, je näher die Polarisationsebenen beider Bündel dem Parallelismus unter einander kommen, d. h. je mehr der Winkel, den sie zu beiden Seiten mit der Zurückwerfungs- oder Brechungsebene bilden, sich 0° oder 90° nähert. Die Neigung der Polarisationsebenen jedes beider Bündel gegen die Zurückwerfungs- oder Brechungsebene (und hiemit zugleich ihre, das Doppelte betragende, gegen-

*) Die Formeln in den folgenden Artikeln sind fortlaufend numerirt. Die Belege werden wir nach den zusammengehörigen Artikeln zuletzt vereinigt folgen lassen.

seitige Neigung) läßt sich nach dem Einfallswinkel, unter welchem die unvollkommene Polarisation erfolgt &c., und dem Brechungsverhältniß der Substanz berechnen, wozu die Formeln (1) bis (7) führen. Das Resultat dieser Berechnung für Glas findet sich in der, diesem Artikel angehängten, Tabelle S. 238. Eine nähere Erörterung aber der hier gegebenen Vorschriften von der unvollständigen Polarisation wird in einem der nächsten Artikel folgen.

3) Das Brechungsverhältniß einer Substanz als bekannt vorausgesetzt, so ist man im Stande, für jeden gegebenen Einfallswinkel zu bestimmen, welche Lichtmenge in dem zurückgeworfenen Strale vollständig nach der Zurückwerfungsebene oder in dem gebrochenen Strale senkrecht darauf polarisirt ist. Hiezu führen die Formeln von (18) an. Das Resultat dieser Berechnung für Glas findet sich in der Tabelle S. 238.

4) Das Brechungsverhältniß einer Substanz als bekannt vorausgesetzt, so ist man ferner im Stande, die Änderung, welche die Richtung der Polarisation eines schon polarisirten Strales erleidet, zu bestimmen, wenn er bei beliebigen Einfallswinkeln und bei beliebigen Neigungen der Einfallsebene gegen die anfängliche Polarisationsrichtung zurückgeworfen oder gebrochen wird. Hiezu führen die Formeln (8) bis (17).

5) Ein natürlicher Stral kann durch die wiederholten Zurückwerfungen, wenn sie unter anderen Winkeln, als denen der vollständigen Polarisation geschehen, nie zur vollkommenen Polarisation gelangen, wiewohl er sich ihr mit zunehmender Zahl der Zurückwerfungen unter demselben Winkel immer mehr nähert, so daß der Unterschied von der vollständigen Polarisation zuletzt merklich verschwinden kann; und zwar verschwindet der Unterschied nach einer um so geringern Zahl Zurückwerfungen, je näher der Winkel der wiederholten Zurückwerfungen dem Winkel des Polarisationsmaximums kommt. Diese Umstände gehen aus Formel (2) und (27) hervor.

6) Wenn die successiven Zurückwerfungen unter verschiedenen Winkeln geschehen, so trägt jede neue Zurückwerfung, mag sie dem Winkel des Polarisationsmaximums näher oder ferner liegen, als die vorhergehende, doch bei, den Stral der vollständigen Polarisation näher zu bringen, nur wird diese Näherung um so mehr betragen, je näher der Winkel der neuen Zurückwerfung dem Winkel des Polarisationsmaximums liegt (Formel (8).)

7) Je kleiner das Brechungsverhältniß der zurückwerfenden Substanz ist, um so weniger Zurückwerfungen sind hinreichend, einen zuerst im natürlichen Zustande einfallenden Stral merklich vollständig zu polarisiren; und (was damit zusammenhängt) bei gleichem Einfallswinkel polarisiren Körper mit kleinerer brechender Kraft eine größere Menge Lichtes in einem natürlichen Strale, als Körper mit größerer brechender Kraft (Formel (1) und (2)*).

*) Nach diesen Formeln nimmt nämlich der Winkel $\varphi$, den die Polarisa-

8) Die von Arago gegebene Regel, daß in einem natürlichen Strale gleiche Lichtmengen durch Zurückwerfung polarisirt würden, wenn der Einfallswinkel eben so weit unterhalb als oberhalb vom Winkel des Polarisationsmaximum differirt, ist irrig, indem sie eben so wenig mit Formel (21) als mit Brewster's Versuchen stimmt.

9) Es giebt keinen Einfallswinkel, bei welchem alle Farbenstralen des einfallenden Lichtes gleichzeitig durch Zurückwerfung polarisirt zu werden vermöchten, indem jeder Farbenstral bei um so größerm Einfallswinkel eine vollständige Polarisation erfährt, je größer seine Brechbarkeit ist. Der Winkel des Polarisationsmaximums ist demnach für denjenigen zu halten, bei dem die mittleren Farbenstralen vollständig polarisirt werden*).

10) Ein natürlicher Stral kann weder durch eine einmalige Brechung noch selbst durch die wiederholtesten Brechungen, unter welchen Winkeln es immer sei, eine vollständige Polarisation erfahren (Formel (6), (33), und es verhält sich mithin in dieser Hinsicht anders mit der Brechung als mit der Zurückwerfung, bei welcher letztern der Stral, wenn die Zurückwerfung unter einem gewissen Winkel (dem Polarisationswinkel oder Winkel des Polarisationsmaximum) geschieht, wirklich vollständig polarisirt wird.

11) Das Quantum Licht, was in einem natürlichen Stral durch einmalige Brechung mittelst der ersten Oberfläche, so wie das, welches durch zweimalige Brechung mittelst Durchganges durch beide Oberflächen einer parallelflächigen Platte polarisirt wird, nimmt von 0° Incidenz bis 90° Incidenz immer mehr zu. Ferner nimmt es mit dem Brechungsverhältniß des Körpers zu (Formel (4), (5), (6), (32), (33)).

12) Die Quantität des Lichtes, welche durch Brechung in dem durch die erste Oberfläche eines durchsichtigen Körpers hindurchgegangenen Stral senkrecht auf die Brechungsebene polarisirt ist, ist stets gleich der Quantität des Lichtes, welche in dem gleichzeitig zurückgeworfenen Strale in der Zurückwerfungsebene polarisirt ist, wie auch der Einfallswinkel beschaffen sein mag (Formeln (30), (31)). Dagegen findet diese Gleichheit nicht Statt in Bezug auf das Licht, was in dem durch beide Oberflächen einer parallelflächigen Platte durchgegangenen Stral polarisirt ist, und dem, welches in dem gleichzeitig an der ersten Oberfläche zurückgeworfenen Stral polarisirt ist, und die von Arago in diesem Bezuge angeführten Erfahrungen sind irrig **).

tionsebenen der beiden Bündel, aus welchen nach (2) der unvollkommen polarisirte Stral bestehend gedacht werden kann, mit der Einfallsebene bilden, ab, wenn der Unterschied zwischen dem Einfallswinkel i und dem Brechungswinkel i' (wovon das Brechungsverhältniß abhängt) abnimmt. Die unvollkommene Polarisation nähert sich aber angegebenermaßen der vollkommenen um so mehr, je kleiner dieser Winkel $\varphi$ ist, d. h. je mehr sich die Polarisationsebenen beider Bündel dem Parallelismus mit der Einfallsebene nähern.

*) Dieser schon früher bekannte Satz ergiebt sich leicht daraus, daß die Summe des Einfalls- und Brechungswinkels für das Polarisationsmaximum stets = 90°.

**) In der That würde dieser Umstand sowohl den weiter anzuführenden

13) Wiewohl nach 10) ein natürlicher Stral selbst durch eine noch so oft wiederholte Anzahl Brechungen keine absolut vollständige Polarisation erfahren kann, so kann er doch durch wiederholte Brechungen sich derselben bis ins Unbestimmte nähern, so daß nach einer gewissen Anzahl Brechungen die Polarisation wenigstens für die Wahrnehmung vollständig zu sein scheinen wird. (Formel (6)).

14) Jede neue Brechung trägt dazu bei, den Verhältnißtheil senkrecht auf die Brechungsebene polarisirten Lichtes in dem Strale zu vermehren, unter welchem Winkel auch die neue Brechung geschehen mag. Dieser Verhältnißtheil nimmt aber um so rascher zu, und die vollständige Polarisation wird um so eher für die Wahrnehmung erreicht, je näher die Incidenzen jedesmal an 90° sind und je größer das Brechungsvermögen der Platten ist.

15) Es giebt einen Einfallswinkel, bei welchem ein jeder Körper eben so viel Licht zurückwirft als durchläßt oder absorbirt. Dies ist der, wo beim reflectirten und dadurch unvollständig polarisirten Lichte die Neigung der Polarisationsebenen gegen die Reflexionsebene (nach Brewster's Vorstellung) das Complement ist zu der Neigung der Polarisationsebenen des gebrochenen Strales gegen dieselbe Ebene.

16) Unter dem Polarisationswinkel wird bei allen Körpern ein Bruchtheil des einfallenden Lichtes zurückgeworfen, welcher dem halben Quadrat des Cosinus des doppelten Polarisationswinkels gleich ist. (Die Formel in diesem Bezuge ist schon S. 92 gegeben).

17) Es kann sich treffen, daß ein Körper bei einem Winkel, der nicht der der vollständigen Polarisation ist, eine größere absolute Quantität polarisirten Lichtes zurückwirft, als bei dem Winkel der vollständigen Polarisation; denn wiewohl im ersten Falle die ganze Menge des zurückgeworfenen Lichtes polarisirt ist, so kann doch diese geringer sein, als der polarisirte Bruchtheil des reichlichern Lichtes, welches bei anderen Einfallswinkeln zurückgeworfen wird. So werden vom Glas bei dem Polarisationswinkel 56° 45′ bloß 79,50 Stralen von 1000 auffallenden im Ganzen zurückgeworfen; dagegen bei 79° werden 359,27 Stralen zurückgeworfen, wovon 157,60 in der Einfallsebene polarisirt sind. (Vgl. die Tabellen.)

18) Ein Stral, der durch eine einmalige Brechung an der ersten Oberfläche einer parallelflächigen Platte eine theilweise Polarisation erfahren hat, wird durch die nachfolgende Zurückwerfung von der zweiten Oberfläche wieder in den Zustand natürlichen Lichtes zurückgebracht, wenn $\cos^2 (i - i') = \cos (i + i')$, wo i den Einfalls-, i′ den Brechungswinkel an der ersten Oberfläche bedeutet. Dies findet im Glase (dessen Brechungsverhältniß 1,525) beim Einfallswinkel 82° 44′ Statt. Bei allen kleineren

Formeln widersprechen, als auch hat Brewster durch eine Analyse des Arago'schen Versuches und eigene Erfahrungen (Pogg. XIX. 520), worüber ich auf die Originalabhandlung verweise, die Untriftigkeit desselben erwiesen.

Werthen von i enthält das Bündel Licht, welches nach der Reflexionsebene polarisirt ist; bei allen grösseren Winkeln dagegen Licht, welches senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirt ist, dessen Menge bei 82° 44′ ihr Maximum erreicht und bei 90° zu ihrem Minimum zurückkehrt. (Formel (6) bis) *).

19) Natürliches Licht, welches durch die erste Oberfläche einer parallelflächigen Platte zurückgekehrt ist (so daß es zwei Brechungen mit einer intermediären Reflexion erlitten hat), enthält bei allen Einfallswinkeln, von 0° bis zum Winkel des Polarisationsmaximum, eine Portion Licht, die nach der Reflexionsebene polarisirt ist. Oberhalb des Polarisationswinkels nimmt der nach der Reflexionsebene polarisirte Theil des Lichtbündels ab, bis $\cos(i + i') = \cos^3(i - i')$, wo er verschwindet, und das gesammte Bündel den Character des gewöhnlichen Lichtes besitzt, was im Glase bei 78°,7, beim Wasser etwas über 80° der Fall ist. Oberhalb des letztern Winkels enthält das Lichtbündel eine Portion Licht, die senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirt ist, welche bis zu einem Maximum wächst und dann bei 90° auf Null herabsinkt. (Formel (7)).

## Tabellen über die Polarisation, für Glas berechnet **).

Brewster hat nach den in den nächsten Artikeln folgenden Formeln (1), (5), (26) und der Formel (1) S. 94 folgende Umstände für eine parallelflächige Platte von Tafelglas, dessen Brechungsverhältniß = 1,525 ist, für einfallendes natürliches Licht bei Abänderung des Einfallswinkels, berechnet:

1) welchen Winkel $\varphi$ die Polarisationsebene jedes der beiden Bündel, aus denen der durch die Zurückwerfung unvollständig polarisirte Stral nach Brewster's Vorstellung (S. 233) besteht, mit der Zurückwerfungsebene bildet (wo dann $2\varphi$ der Winkel der Polarisationsebenen beider Bündel unter einander ist);

2) welchen Winkel $\varphi_2$ jedes der beiden Bündel, aus denen der durch beide Oberflächen der Platte hindurchgegangene, und durch die hiebei erfahrene zweimalige Brechung unvollständig polarisirte Stral nach Brewster's Vorstellung besteht, mit der Brechungsebene bildet;

3) welche Gesammtquantität Licht R unter den verschiedenen Einfallswinkeln zurückgeworfen und welche durchgelassen wird;

4) welche Quantität in der Zurückwerfungsebene polarisirten Lichtes in dem zurückgeworfenen Strale enthalten ist.

Die Quantität des einfallenden Lichtes ist = 1000 Stralen gesetzt.

*) Diese Resultate lassen sich bloß an einem Strale beobachten, der nach der Zurückwerfung von der zweiten Oberfläche senkrecht auf eine Fläche (die man deshalb an der Platte schief zuschneidet, Figur 73.) austritt, damit er nicht hier eine zweite Brechung erfährt.

**) Pogg. XIX. 272, 283, 526.

ebene bloß der der Reflexionsebene mehr oder weniger nähern, je nachdem die Incidenz dem Polarisationswinkel mehr oder weniger nahe kommt. Die Drehung wird auch um so mehr betragen, je kleiner das Brechungsvermögen der Substanz ist.

Durch fortgesetzte Reflexionen unter demselben Winkel oder auch verschiedenen Winkeln vermag die Polarisationsebene eines Strales der Zurückwerfungsebene immer mehr genähert zu werden, so daß sie nach einer gewissen Anzahl Zurückwerfungen für die Wahrnehmung wirklich mit derselben zusammenfällt, wiewohl, streng genommen, dies durch keine endliche Anzahl Zurückwerfungen genau erreichbar ist, außer in dem Falle, wo eine der verschiedenen Zurückwerfungen unter dem Polarisationswinkel erfolgt, da schon eine einzige Zurückwerfung unter diesem Winkel hinreicht, die Polarisationsebene genau in die Zurückwerfungsebene zu drehen, woraus sie dann durch Zurückwerfungen in derselben Ebene unter anderen Einfallswinkeln nicht wieder abgelenkt zu werden vermag.

Wenn ein vollständig polarisirter Stral durch die erste Oberfläche eines durchsichtigen Körpers hindurchgeht, oder wenn er durch beide Oberflächen einer parallelflächigen Platte oder auch beliebig viele parallele Platten hindurchgeht, so wird er in dem Falle, daß die Richtung seiner Polarisationsebene mit der Richtung der Brechungsebene zusammenfällt, vollständig, und zwar in derselben Ebene polarisirt bleiben, unter welchem Winkel auch die Incidenz an der ersten Oberfläche geschehen sein mag. Im Fall dagegen die Richtung seiner ursprünglichen Polarisation einen Winkel mit der Brechungsebene bildet, so wird die Polarisationsebene sich um einen gewissen Winkel von der Brechungsebene ab, also nach entgegengesetzter Richtung als die des gleichzeitig zurückgeworfenen Strales drehen. Diese Drehung wird um so größer sein, je größer der Einfallswinkel an der ersten Oberfläche, je größer die Zahl der parallelen Oberflächen, je größer das Brechungsvermögen der Platten (oder der Platte) ist; unter keinem Einfallswinkel aber, selbst nicht bei 90°, wird eine einzige Oberfläche hinreichen, die Polarisationsebene bis in die senkrechte Lage gegen die Brechungsebene zu drehen, außer bei 90°, im Fall der Voraussetzung eines unendlichen Brechungsvermögens.

Durch wiederholte Brechungen mittelst paralleler oder auch nicht paralleler Platten vermag die Polarisationsebene eines Strales, wie sie auch anfangs gegen die Brechungsebene gestellt gewesen sein mag, der darauf senkrechten Lage ins Unbestimmte immer näher gebracht zu werden, so daß sie zuletzt wirklich merklich, d. i. für die Wahrnehmung, mit ihr zusammenfällt.

Wir werden nachher die Formeln mittheilen, welche die Drehung der Polarisationsebene aus der Neigung der Polarisation gegen die Einfallsebene und dem Einfallswinkel, sowohl für den zurückgeworfenen als den gebrochenen Stral, genau berechnen lassen. (Formeln (8) bis (17)).

## Über den Begriff der unvollständigen Polarisation, von Brewster*).

Einen Stral natürlichen Lichtes, der auf einen zurückwerfenden Körper fällt, kann man bekanntlich als einen solchen betrachten, der gleiche Quantitäten rechtwinklich auf einander polarisirten Lichtes enthält, und man gelangt zu demselben Resultate, mag man nun die Polarisation aller Theilchen bloß als nach zwei bestimmten, auf einander rechtwinklichen, Richtungen Statt findend annehmen, oder in gleichem Verhältnisse nach allen beliebigen auf einander senkrechten Richtungen. Ein Stral vollkommen polarisirten Lichtes andererseits ist ein solcher, bei welchem die Polarisationsebenen aller Theilchen einander parallel sind, und zwar, wie bekannt, wenn ein Stral durch Zurückwerfung unter dem vollständigen Polarisationswinkel polarisirt worden ist, so sind die Polarisationsebenen sämmtlicher Lichttheilchen der Zurückwerfungsebene parallel.

Fällt ein Stral erster Art senkrecht auf ein Rhomboid von isländischem Spath, so theilt er sich in zwei Bündel von gleicher Intensität, ein Stral zweiter Art dagegen theilt sich hiebei im Allgemeinen in zwei Bündel ungleicher Intensität, indem die Quantität Licht, die als gewöhnliches Bündel erscheint, dem Quadrat des Cosinus des Winkels proportional ist, den der Hauptschnitt des Rhomboides mit der Polarisationsebene bildet.

Wird ein natürlicher Stral unter einem Winkel, der größer oder kleiner als der vollständige Polarisationswinkel ist, von einem Körper zurückgeworfen, so erhält er dadurch eine Modification, die ihn der vollständigen Polarisation in der Zurückwerfungsebene nähert, wie sich theils dadurch zu erkennen giebt, daß wiederholte Reflexionen oder Brechungen unter demselben Winkel zuletzt ihn wirklich merklich vollständig polarisiren, theils dadurch, daß der unvollständig polarisirte Stral bei senkrechtem Einfalle auf ein Rhomboid isländischen Spathes sich im Allgemeinen in zwei Bündel ungleicher Intensität theilt.

Gewöhnlich nun betrachtet man einen solchen unvollständig polarisirten Stral als zusammengesetzt aus zwei Antheilen Lichtes, einem vollständig in der Zurückwerfungsebene polarisirten, und einem natürlichen Antheile, welcher letztere sich jedoch angegebenermaßen wieder in zwei rechtwinklich auf einander polarisirte Antheile zerlegen läßt, und analysirt man mithin einen solchen Stral mittelst eines Rhomboides aus isländischem Spath, dessen Hauptschnitt der Zurückwerfungsebene parallel ist, so wird der gewöhnliche Stral den ganzen Antheil des vollständig polarisirten Lichtes und die Hälfte des natürlichen Lichtes enthalten, der ungewöhnliche Stral bloß die andere Hälfte des natürlichen Lichtes. Jedenfalls kann man daher unter Quantität des polarisirten Lichtes in einem unvoll-

*) Pogg. XIX. 259, 282.

ständig polarisirten Stral den Lichtüberschuß verschaffen, den unter diesen Umständen der gewöhnliche Stral über den ungewöhnlichen besitzt.

Man kann jedoch auch für die Beschaffenheit der unvollkommenen Polarisation noch eine andere Ansicht zu Grunde legen, welche mit der vorigen wesentlich zu gleichen Ergebnissen führt. Diese Ansicht, welche Brewster aufgestellt hat, ist folgende:

Während ein natürlicher Stral aus zwei gleichen Antheilen rechtwinklich auf einander polarisirten Lichtes besteht, ein vollständig polarisirter aber aus Lichttheilchen, deren Polarisationsebenen sämmtlich parallel sind, besteht ein durch Zurückwerfung unvollkommen polarisirter Stral aus zwei gleichen Antheilen Licht, deren Polarisationsebenen einen gewissen schiefen Winkel mit einander bilden, und zu beiden Seiten gleich geneigt gegen die Zurückwerfungsebene sind *), und die unvollkommene Polarisation wird sich der vollkommenen um so mehr nähern, je mehr dieser schiefe Winkel verschwindet oder die Polarisationsebenen aller Theilchen dem Parallelismus unter sich und mit der Zurückwerfungsebene nahe kommen.

Es würde mir nutzlos scheinen, Streitigkeiten darüber führen zu wollen, ob die erste, von Fresnel, Arago u. a. befolgte, Vorstellung oder die letzte von Brewster befolgte richtiger sei. Unstreitig sind sie beide gleich richtig, d. h. sie sind beide nur verschiedene Arten oder Formen, eine und dieselbe Erscheinung behufs leichterer Repräsentation sich zerlegt zu denken, und man wird daher von beiden, definitiv nur als mathematische Fictionen anzuschauenden, Vorstellungen diejenige wählen können, die man für sich selbst am bequemsten hält, vorausgesetzt natürlich, daß wirklich eine auf dieselben Ergebnisse führt als die andere. Daß dies nun bei der Brewster'schen Vorstellung wirklich der Fall ist, hat Brewster auf dem Erfahrungswege dadurch dargethan, daß er den Einfluß, den die Zurückwerfung unter Winkeln unvollständiger Polarisation auf Änderung des Winkels rechtwinklich gegen einander geneigter Polarisationsebenen (wie sie in einem natürlichen Strale vereinigt angenommen werden) hat, an zwei rechtwinklich auf einander polarisirten getrennten Bündeln nachwies. Es zeigte sich, als er zwei solche (durch doppelte Brechung getrennte) Bündel unter Winkeln unvollkommener Polarisation von einer Glasplatte zurückwerfen ließ und die zurückgeworfenen Stralen mittelst eines Rhomboides von isländischem Spath auf die Richtung ihrer Polarisationsebenen prüfte, daß die Polarisationsebenen beider Bündel sich je nach der Größe des Zurückwerfungswinkels unter verschiedene Winkel gegen einander stellten, und zwar unter um so kleinere, oder daß sie dem Parallelismus unter sich und mit der Zurückwerfungsebene um so näher kamen, je näher der Einfallswinkel auf dem Glase dem der vollständigen Polarisation kam **).

*) So daß diese ihren schiefen Winkel mitten durchtheilt.

**) Was im Grunde schon aus den Fresnel'schen Formeln über die Drehung der Polarisationsebene beim Einfall unter verschiedenen Winkeln, oder den im vorigen Artikel gegebenen Erörterungen von selbst folgt. F.

Was aber hier bei beiden getrennten Lichtbündeln Statt fand, wird unstreitig auch bei zwei solchen Lichtbündeln erfolgen, wenn sie, wie im natürlichen Strale, verschmolzen sind, d. h. ihre ursprünglich rechtwinklich auf einander gerichteten Polarisationsebenen werden ebenfalls ihren Winkel um so mehr verkleinern, je näher der Einfallswinkel dem der vollständigen Polarisation kommt, und wenn dieser Statt findet, wirklich sämmtlich parallel unter sich und mit der Zurückwerfungsebene werden*). (Vgl. Beleg 1) mit den beigefügten Erörterungen).

Ganz analoge Versuche stellte Brewster mit der Brechung unter verschiedenen Winkeln an. Auch durch diese wurden die Polarisationsebenen zweier getrennter rechtwinklich auf einander und um 45° zu beiden Seiten gegen die Einfallsebene polarisirter Bündel, je nach den Einfallswinkeln unter verschiedene Winkel gegen einander gestellt, nur daß hier die Drehung nach entgegengesetzter Richtung als bei der Zurückwerfung geschah, indem die Polarisationsebenen bei zunehmendem Einfallswinkel immer mehr der Rechtwinklichkeit gegen die Refractionsebene genähert wurden, wobei jedoch zu bemerken ist, daß diese Rechtwinklichkeit unter keinem Einfallswinkel vollständig erreicht zu werden vermag, indem vielmehr nur ein Maximum der Annäherung an die Rechtwinklichkeit beim Einfall unter 90° Incidenz, d. i. wenn das Einfallen parallel mit der Einfallsfläche geschieht, erreicht wird. Man vergleiche hiezu Beleg 2).

Daß übrigens ein unvollständig polarisirter Stral, wie er nach Brewster's Vorstellung beschaffen ist, bei Analyse durch den isländischen Spath eben so gut zwei Bilder ungleicher Intensität geben muß, als wenn man ihn nach der ersten Ansicht betrachtet, ergiebt sich leicht aus Folgendem:

Jeder der beiden Bündel im unvollständig polarisirten Strale, die den schiefen Winkel $\varphi$ mit der Reflexionsebene bilden, giebt bei Zerlegung durch den isländischen Spath ein gewöhnliches Bild und ein ungewöhnliches, deren Intensitäten sich wie $\cos^2\varphi$ zu $\sin^2\varphi$ verhalten. Die gewöhnlichen Bilder beider Bündel fallen über einander, und die ungewöhnlichen ebenfalls, und mithin wird sich auch die Intensität des totalen gewöhnlichen Bildes zu der des totalen ungewöhnlichen Bildes wie $\cos^2\varphi$ zu $\sin^2\varphi$ verhalten, mithin ungleich sein, wofern nicht $\varphi = 45°$ ist, wo man statt eines unvollständig polarisirten Strales einen natürlichen hat, der dann wirklich durch Zerlegung zwei Bilder gleicher Intensität giebt.

Es wird hiernach erlaubt sein, auch nach Brewster's Ansicht noch von einem Antheile natürlichen Lichtes und einem Antheile polarisirten Lich-

*) Dieser Versuch würde für Brewster's Vorstellung entscheiden und sie für mehr, als eine mathematische Fiction erscheinen lassen, wenn nicht die hiebei zu Grunde gelegte Annahme, daß ein natürlicher Stral aus zwei, nach ihren Richtungen rechtwinklich polarisirten, Stralen bestände, selbst eine solche Fiction wäre. Übrigens ist nicht zu leugnen, daß die Brewster'sche Art, die Grade der unvollkommenen Polarisation nach dem Winkel, den die beiden partiellen Bündel des Strales einschließen, zu bestimmen, viel Bequemlichkeit gewähret. F.

tes in einem unvollkommen polarisirten Strale zu sprechen, wofern man nur hierunter die Antheile versteht, die als solche bei Analyse durch den isländischen Spath erscheinen, nicht aber zugleich annimmt, daß sie schon vor der Analyse sich als solche im Strale befindet. Der Brewster'schen Vorstellung angemessener aber wird es sein, den Grad der Annäherung an die vollständige Polarisation durch die Kleinheit des Winkels zu bestimmen, welchen die beiden partiellen Bündel des Strales noch mit der Einfallsebene (im zurückgeworfenen Strale) oder der darauf senkrechten Richtung (im gebrochenen Strale) machen.

### Formeln zur Bestimmung des Winkels, welchen die beiden partiellen Bündel eines unvollständig polarisirten Strales nach Brewster's Vorstellung mit der Einfallsebene machen.

Wenn man den Einfallswinkel i des natürlichen Strales auf die erste Oberfläche eines durchsichtigen Körpers von bekanntem Brechungsvermögen kennt, so kann man mittelst nachstehender Formeln den Neigungswinkel (oder, wie sich die Franzosen auszudrücken pflegen, das Azimuth) $\varphi$ bestimmen, den die Polarisationsebene jedes der beiden partiellen Bündel, woraus der zurückgeworfene unvollständig polarisirte Stral nach Brewster's Vorstellung besteht, mit der Einfallsebene bildet. Derselbe wird nämlich, wenn bloß eine einmalige Zurückwerfung unter dem Winkel i Statt fand, durch folgende Gleichung gegeben:

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{\cos (i + i')}{\cos (i - i')} \qquad (1)$$

worin $i'$ der Brechungswinkel ist; wenn dagegen n successive Zurückwerfungen unter demselben Winkel i Statt finden, so wird die Tangente des Neigungswinkels $\varphi_n$, den die Polarisationsebene jedes jener Bündel nach der nten Zurückwerfung mit der Reflexionsebene noch bildet, durch die Gleichung

$$\operatorname{tang} \varphi_n = \frac{\cos^n (i + i')}{\cos^n (i - i')} \qquad (2)$$

$$= \operatorname{tang}^n \varphi_1 \qquad (2 \text{ bis})$$

gegeben, wo $\varphi_1$ der Neigungswinkel nach der ersten Zurückwerfung ist.

Endlich findet man tang $\varphi_n$, wenn die n successiven Zurückwerfungen, statt unter demselben Winkel i vielmehr unter den successiven Winkeln i, $i_1$, $i_2$.... geschehen, welchen die Brechungswinkel $i'$, $i'_1$, $i'_2$ zugehören, durch folgende Formel:

$$\operatorname{tang} \varphi_n = \frac{\cos (i + i') \cos (i_1 + i'_1) \cos (i_2 + i'_2) \dots}{\cos (i - i') \cos (i_1 - i'_1) \cos (i_2 - i'_2) \dots} \qquad (3)$$

Diese Formeln sind nur Folgerungen aus später anzuführenden allgemeinern Formeln, die von Fresnel theoretisch hergeleitet und von Brewster durch Versuche bewährt worden sind.

Um den Winkel $\varphi$, $\varphi_2$ oder $\varphi_n$ zu bestimmen, unter dem die Polarisationsebene jedes der beiden Bündel eines durch einmalige, zweimalige

oder nmalige Brechung unvollständig polarisirten Strahles gegen die Brechungsebene gestellt ist, gelten sowohl nach Brewster's Erfahrungen *) (Pogg. XIX. 285), als Fresnel's theoretischen Erörterungen (Pogg. XXII. 103) folgende Formeln:

a) nach einmaliger Brechung durch die erste Oberfläche eines durchsichtigen Körpers, unter dem Einfallswinkel i und Brechungswinkel i'

$$\cot \varphi = \cos (i - i') \qquad (4)$$

oder, was bloß eine Transformation dieser Formel ist:

$$\tang \varphi = \frac{2 \sin (i + i')}{\sin 2i + \sin 2i'} \qquad (4 \text{ bis})$$

Das erste ist die Brewster'sche, das letzte die Fresnel'sche Form. Die nachstehenden Formeln, worin wir bei der Brewster'schen Form stehen bleiben werden, sind aus (4), (4 bis) und (1) blos abgeleitet.

b) Nach zweimaliger Brechung, vermöge Durchganges durch die beiden Oberflächen einer parallelflächigen Platte, wenn der Einfalls- und Brechungswinkel an der ersten Oberfläche respectiv i und i' sind

$$\cot \varphi_2 = \cos^2 (i - i') \qquad (5)$$

c) Nach nmaliger Brechung vermöge Durchganges durch n parallele Oberflächen, wenn der Einfalls- und Brechungswinkel an der ersten Oberfläche respectiv i und i' sind

$$\cot \varphi_n = \cos^n (i - i') \qquad (6)$$

d) Nach einmaliger Brechung durch die erste Oberfläche und einmaliger Zurückwerfung durch die zweite Oberfläche einer parallelflächigen Platte.

$$\cot \varphi = \frac{\cos (i + i')}{\cos^2 (i - i')} \qquad (6 \text{ bis})$$

e) Nach zweimaliger Brechung durch die erste Oberfläche mit dazwischenfallender Zurückwerfung durch die zweite Oberfläche einer parallelflächigen Platte.

$$\cot \varphi_2 = \frac{\cos^3 (i - i')}{\cos (i + i')} \qquad (7)$$

Für Formel (5), mit deren Erweis zugleich die Bestätigung der übrigen, in unmittelbarem Zusammenhange damit stehenden, für die Brechung geltenden Formeln sich als gegeben ansehen läßt, hat Brewster die unter Beleg. 3) enthaltene Versuchsreihe mitgetheilt, so wie auch mehrere der unter Beleg. 2) enthaltenen Versuche diesen Formeln zur Erläuterung dienen können.

*) Brewster scheint die nachfolgenden Formeln bloß empirisch abgeleitet zu haben. Durch gehörige Transformation findet man aber, daß sie mit den, aus den Fresnel'schen theoretischen Erörterungen hervorgehenden, übereinstimmen. Man hat nämlich nur zu berücksichtigen, daß

$$\sin 2i + \sin 2i' = 2 \sin (i + i') \cos (i - i').$$

F.

6) **Werth des Azimuth $\varphi_n$ nach Hindurchgang des Strales durch n parallele Oberflächen eines gleichbeschaffenen Mittels.**

$$\cot \varphi_n = \cot a \cos^n (i - i') \qquad (14)$$

7) **Werth des Azimuth $\varphi_n$ nach Hindurchgang des Strales durch n nicht parallele Oberflächen eines gleichbeschaffenen Mittels.**

Es seien die successiven Einfallswinkel auf den sich folgenden Oberflächen $i, i_1, i_2$ — und die successiven Brechungswinkel $i', i'_1, i'_2$ —, so hat man

$$\cot \varphi_n = \cot a \cos (i - i') \cos (i_1 - i'_1) \cos (i_2 - i'_2) \qquad (14 \text{ bis})$$

Brewster hat die Formel (13) theils durch die, unter Beleg 3) mitzutheilende Versuchsreihe bewährt, in welcher, bei constantem $a = 45°$, i abgeändert wurde, theils durch die, unter Beleg 5) mitzutheilende, Versuchsreihe, wo bei constantem $i = 80°$ successiv a von 0° bis 90° abgeändert wurde. Sie selbst, so wie die Formeln (14) und (14 bis), sind einfache Folgerungen aus Formel (11).

8) **Werth des Azimuth $\varphi'$ oder $\varphi''$ bei Combination von Brechung mit Zurückwerfung in einer parallelflächigen Platte.**

Wenn wir eine parallelflächige durchsichtige Platte MPQN Fig. 72 haben, auf welche der, in dem Azimuth a gegen die Einfallsebene polarisirte, Stral unter der Incidenz i einfällt, und es heißt:

$\varphi$ das Azimuth der Polarisationsebene des Strales gegen die Einfallsebene nach einmaliger Brechung in a, mithin in dem Theile aC des Strales

$\varphi'$ das Azimuth nach einmaliger Brechung in a und einmaliger Zurückwerfung in C, mithin in dem Theile Cb des Strales

$\varphi''$ das Azimuth nach zwei Brechungen in a und b, mit intermediärer Zurückwerfung in C, mithin in dem Theile bR des Strales, so haben wir (Pogg. XIX. 522):

$$\cot \varphi = \cot a \cos (i - i') \qquad (15)$$

$$\tan \varphi' = \tan a \frac{\cos (i + i')}{\cos^2 (i - i')} \qquad (16)$$

$$\cot \varphi'' = \cot a \frac{\cos^3 (i - i')}{\cos (i + i')} \qquad (17)$$

Diese Formeln sind bloß eine Folgerung der früher angeführten Formeln.

Hat man eine Platte, welche bei MN schief abgeschnitten ist (Figur 73.), und läßt man den Stral SA so einfallen, daß er senkrecht auf MN wieder austritt, mithin die zweite Brechung wegfällt, so gilt die Formel (16) für die Polarisationsebene des austretenden Strales bR; dagegen, wenn, wie in der vorigen Figur, der Stral wieder durch die erste Oberfläche austritt, mithin die Lage seiner Polarisationsebene noch durch die zweite

Brechung verändert wird, die Formel (17) für den austretenden Stral bR gilt.

### Formeln für die Quantität Licht, welche in einem beliebigen zurückgeworfenen oder gebrochenen Strale nach der Zurückwerfungsebene oder senkrecht auf die Brechungsebene polarisirt ist*).

1) Für Licht, welches von der ersten Oberfläche eines durchsichtigen Körpers zurückgeworfen wird**). Sei der einfallende Stral schon nach irgend einer Richtung vollständig polarisirt, oder sei er unvollständig polarisirt, oder in natürlichem Zustande, so wird doch die Quantität Licht, welche sich nach seiner Zurückwerfung in der Zurückwerfungsebene polarisirt findet, in dem S. 241 angegebenen Sinne genommen, durch folgende Formel ausgedrückt werden können. In dieser Formel ist die Quantität des reflectirten Lichtes = 1 gesetzt, Q der Bruchtheil des reflectirten Lichtes, der in der Zurückwerfungsebene polarisirt ist, i der Einfallswinkel, i' der Brechungswinkel, a der Winkel, welchen die ursprüngliche Polarisationsebene mit der Zurückwerfungsebene bildet. Dieser Winkel wird bei natürlichem Lichte = 45° gesetzt***), was (für dies Licht) tang a = 1 giebt, bei unvollständig polarisirtem Lichte ist er der Hälfte des Winkels gleich, den die Polarisationsebenen der beiden Bündel, die den Stral ausmachen, nach Brewster's Ansicht einschließen.

$$Q = 1 - 2\left\{\frac{\left[\text{tang a}\,\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}\right]^2}{1+\left[\text{tang a}\,\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}\right]^2}\right\} \qquad (18)$$

$$= 1 - 2\,\frac{\text{tang}^2 a \,.\, \cos^2(i+i')}{\cos^2(i-i') + \text{tang}^2 a \,.\, \cos^2(i+i')} \qquad (19)$$

$$= \frac{\cos^2(i-i') - \text{tang}^2 a \,.\, \cos^2(i+i')}{\cos^2(i-i') + \text{tang}^2 a \,.\, \cos^2(i+i')} \qquad (20)$$

Für natürliches Licht ist:

$$Q = 1 - 2\,\frac{\cos^2(i+i')}{\cos^2(i-i') + \cos^2(i+i')} \qquad (21)$$

$$= \frac{\cos^2(i-i') - \cos^2(i+i')}{\cos^2(i-i') + \cos^2(i+i')} \qquad (22)$$

*) Brewster in Pogg. XIX. 259.

**) Die nachfolgenden Formeln gelten indeß auch für die zweite Oberfläche durchsichtiger Körper, vorausgesetzt, daß der Stral beim Ein- oder Austritt in den Körper senkrecht auf dessen Oberfläche ist, und der innere Einfallswinkel kleiner als die erste Gränze totaler Zurückwerfung.

***) Insofern sich nämlich das natürliche Licht, als aus zwei rechtwinklich auf einander polarisirten gleichen Lichtpartieen bestehend, ansehen läßt, deren Polarisationsebenen um 45° zu beiden Seiten gegen die Reflexionsebene geneigt sind.

[illegible] kann, mit der Einfallsebene bildet, so hat man [illegible]

Da der Werth von Q in Formel (21) und (27) [illegible] von der Beziehung von i zu i′, d. i. vom Brechungsverhältniß abhängt, und dieses für jede Farbe im Spectrum ein anderes ist, so erhellt, daß Q verschiedene Werthe für die verschiedenen Farben haben wird, woraus folgt, daß der Antheil Licht, welcher im zurückgeworfenen Strale vollständig in der Einfallsebene polarisirt ist, in anderm Verhältnisse als im einfallenden weißen Lichte aus den verschiedenen Farbenstralen zusammengesetzt sein, und demgemäß sowohl er selbst, als der Rest unpolarisirtes Licht im zurückgeworfenen Strale gefärbt sein muß. Zerlegt man mithin den Stral, unter welchem Winkel er auch zurückgeworfen worden sein mag, durch einen isländischen Spath, dessen Hauptschnitt der Zurückwerfungsebene parallel ist, so wird sowohl das gewöhnliche Bild, welches alles vollständig polarisirte Licht und die Hälfte vom Rest natürlichen Lichtes, als das ungewöhnliche Bild, welches die andere Hälfte des Restes von natürlichem Lichte enthält, gefärbt erscheinen müssen. Diese Färbung muß um so augenfälliger werden, je mehr sich der Einfallswinkel dem der vollständigen Polarisation nähert, weil eine um so größere absolute Quantität Farbenstralen dann in ungleichem Verhältnisse polarisirt wird.

Brewster führt an, daß er in der That den Umstand dieser Färbung bei Cassiaöl, Realgar und anderen das Licht stark zerstreuenden Körpern, wo er natürlich am leichtesten wahrnehmbar werden muß, bestätigt gefunden habe.

2) Für gebrochenes Licht *). Die nachstehenden Formeln sind Folgerungen der Formeln (13) oder (14) Seite 247.

Es sei bei einfallendem natürlichen Lichte $Q_1$ die Quantität Licht, welche in dem durch die erste Oberfläche durchgelassenen Strale senkrecht auf die Brechungsebene polarisirt ist, wenn die Gesammtquantität Licht im durchgelassenen Strale = 1 gesetzt wird. Es sei a der Winkel, den die Polarisationsebene des einfallenden Strales mit der Einfalls- oder Brechungsebene bildet, welcher Winkel für natürliches Licht zufolge der Vorstellung S. 233 = 45° gesetzt werden kann; dann hat man:

$$Q_1 = 1 - \frac{2\cot^2 a \cos^2(i - i')}{1 + \cot^2 a \cos^2(i - i')} \quad (28)$$

Setzt man nicht die Quantität des gebrochenen, sondern die des einfallenden Lichtes = 1, so hat man für die Quantität $Q_1$ des senkrecht auf die Brechungsebene polarisirten Lichtes:

$$Q_1 = \left\{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\sin^2(i - i')}{\sin^2(i + i')}\cos^2 a + \frac{\tan^2(i - i')}{\tan^2(i + i')}\sin^2 a\right)\right\}\left(1 - \frac{2\cot^2 a \cos^2(i - i')}{1 + \cot^2 a \cos^2(i - i')}\right) \quad (29)$$

*) Pogg. XIX. 280, 522.

Für natürliches Licht hat man zu setzen:

$$\cot a = 1, \cos^2 a = \sin^2 a = \tfrac{1}{2}.$$

Man kann auch die Quantität des durch Brechung eines natürlichen Strales senkrecht auf die Brechungsebene polarisirten Lichtes als Function derjenigen Quantität Licht ausdrücken, welche aus demselben Stral zurückgeworfen wird. Nennt man erstere Quantität q, letztere R, so hat man

$$q = 1 - R\left\{1 - \frac{2\cos^2(i-i')}{1+\cos^2(i-i')}\right\} \qquad (30)$$

Das zweite Glied dieses Ausdruckes ist gleich

$$R\left\{1 - \frac{2\left(\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}\right)^2}{1+\left(\frac{\cos(i+i')}{\cos(i-i')}\right)^2}\right\} \qquad (31)$$

welches der Ausdruck für die Quantität Licht ist, welche in dem zurückgeworfenen Strale in der Zurückwerfungsebene polarisirt wird, woraus folgt, daß an der ersten Oberfläche der Körper im durchgehenden und zurückgeworfenen Stral gleiche Quantitäten Licht, senkrecht auf einander, polarisirt werden.

Will man die Quantität Licht $Q_1$, welche vollständig senkrecht auf die Brechungsebene polarisirt erscheint, wenn man einen zuerst im natürlichen Zustande einfallenden Stral nach einmaliger oder nmaliger Brechung unter beliebigen Einfallswinkeln durch einen isländischen Spath zerlegt, als Function des Winkels $\varphi$ oder $\varphi_n$ bestimmen, den die Polarisationsebene jedes der beiden Bündel, aus denen man sich den gebrochenen (und dadurch unvollständig polarisirten) Stral nach Brewster's Vorstellung (S. 242) bestehend denken kann, mit der Einfallsebene bildet, so hat man, die Quantität des gebrochenen Lichtes = 1 gesetzt, hierfür folgende Formeln:

$$Q_1 = 1 - 2\cos^2\varphi \qquad (32)$$

oder

$$Q_1 = 1 - 2\cos^2\varphi_n \qquad (33)$$

worin $\varphi$ oder $\varphi_n$ durch die Formeln S. 244 bestimmt werden können.

Wollte man statt des gebrochenen Lichtes die Quantität des (vor der letzten Brechung) einfallenden Lichtes = 1, und die Quantität des hiebei zurückgeworfenen Lichtes = R, setzen, so würde man statt voriger Formeln folgende haben:

$$Q_1 = (1-R)(1-2\cos^2\varphi) \qquad (34)$$

oder

$$Q_1 = (1-R)(1-2\cos^2\varphi_n) \qquad (35)$$

Es erhellt aus der Formel (33) in Verbindung mit (6), daß auch durch die größte Anzahl wiederholter Brechungen, unter welchem Winkel es immer sei, keine vollständige Polarisation hervorgebracht werden kann, weil $\cos\varphi_n$ nie genau null werden kann, wohl aber ein der vollständigen Polarisation immer mehr sich näherndes Resultat (eben so wie bei der Re-

flexion) erzielt werden kann, so daß nach einer gewissen Anzahl Brechungen allerdings das Bündel merklich vollkommen polarisirt erscheinen kann. Brewster hat hiefür als Belege mehrere schon früher in den Phil. transact. f. 1814 bekannt gemachte, aber damals noch nicht richtig gedeutete, Versuche angeführt, die man unter Beleg 7) finden wird.

5) Für Licht, welches zweimal gebrochen und einmal zurückgeworfen worden ist. Gesetzt, der auf die parallelflächige Platte MPNQ (Fig. 72) auffallende Strahl Sa sei gewöhnliches Licht, so wird in dem von der zweiten Oberfläche MQ zurückgeworfenen Strahle Cb eine Quantität Licht $Q_2$ polarisirt sein, welche durch folgende Formel ausgedrückt wird *):

$$Q_2 = J \left\{ 1 - \frac{2\left[\frac{\cos(i+i')}{\cos^2(i-i')}\right]^2}{1 + \left[\frac{\cos(i+i')}{\cos^2(i-i')}\right]^2} \right\} \qquad (36)$$

wo die gesammte Lichtintensität von aC = 1, die gesammte Lichtintensität von Cb = J gesetzt ist.

In dem durch die erste Oberfläche PN zurückkehrenden Strahle bR aber wird eine Quantität Licht $Q_3$ polarisirt sein, welche durch folgende Formel ausgedrückt ist:

$$Q_3 = J_2 \left\{ 1 - \frac{\left[\frac{\cos^2(i-i')}{\cos(i+i')}\right]^2}{1 + \left[\frac{\cos^2(i-i')}{\cos(i+i')}\right]^2} \right\} \qquad (37)$$

wo die gesammte Lichtmenge von Cb = 1, die gesammte Lichtmenge von bR = $J_2$ gesetzt ist.

## Belege zu vorstehenden Artikeln.

Beleg 1). Zum Beweise, daß die Polarisationsebenen zweier rechtwinklich gegen einander und um 45° rechts und links gegen die Einfallsebene polarisirter Strahlen bei Zurückwerfung unter Winkeln unvollständiger Polarisation ihren gegenseitigen Neigungswinkel, mithin auch den Neigungswinkel gegen die (ihren Winkel halbirende) Zurückwerfungsebene verkleinern, um so mehr, je näher der Einfallswinkel dem der vollständigen Polarisation kommt, führt Brewster folgende Versuche an:

Es mögen Figur 69. A, B die Querschnitte zweier, durch doppelte Brechung von einander getrennter und rechtwinklich gegen einander polarisirter Lichtbündel vorstellen; ab und cd seien die Richtungen ihrer Polarisationsebenen, die den rechten Winkel aec bilden; MN sei die Reflexionsebene auf der Oberfläche von Tafelglas, welche den Winkel aec halbirt, so daß die Ebenen ab und cd die Winkel +45° und −45 mit der Ebene

*) Pogg. XIX. [illegible], [illegible].

MN bilden. Endlich mag ein Kalkspath-Rhomboeder zur Prüfung der Polarisationsrichtung des Strales seinen Hauptschnitt in der Reflexionsebene liegen haben.

Bei einer Incidenz von 90°, gerechnet von dem Perpendikel, erleiden die reflectirten Bilder von A und B keine Veränderung, der Winkel aec ist noch ein rechter, und die vier Lichtbündel, welche vom Kalkspathe gebildet werden, sind alle von gleicher Intensität. So wie man indeß den Einfallswinkel verringert, wird auch der Winkel aec kleiner, und das gewöhnliche und ungewöhnliche Bild von A und B werden an Intensität verschieden. Bei einer Incidenz von 80° ist der Winkel aec statt 90° nur 66°; bei 70° beträgt er nur 40°, und bei 56° 45′, dem Winkel des Polarisationsmaximum, ist er Null, d. h. die Polarisationsebenen ab und cd sind nun parallel. Unterhalb dieses Winkels, bei 50° z. B., neigen die Axen wiederum gegen einander und bilden einen Winkel von 22°; bei 40° bilden sie den Winkel von 50° und endlich bei 0°, oder bei senkrechter Incidenz, sind sie wieder auf ihre ursprüngliche Inclination von 90° zurückgebracht. Stellt MN den Quadranten der Incidenz vor, von 90° bei M bis 0° bei N, so zeigen die Curven 90°,0° die allmäligen Veränderungen in der Lage der Polarisationsebenen, welche Tangenten der Curve sind für die Incidenz, die irgend einem Puncte dieser Curve entspricht.

Wendet man statt des Glases eine Diamantfläche an, so ist die Neigung der Polarisationsebenen ab, cd auf 46° reducirt bei der Incidenz von 80°; auf 8° bei der Incidenz von 70°; und bei 67° 43′ werden die Axen parallel.

So verhält es sich mit der Wirkung der reflectirenden Kräfte auf A und B einzeln genommen. Um die Anwendung hievon auf natürliches Licht, welches als eine Verschmelzung von A und B gedacht werden kann, zu machen, so werden bei 90° und bei 0° Incidenz die reflectirenden Kräfte keine Änderung in der Neigung der Polarisationsebenen bewirken; allein bei 56° 45′ beim Glase, oder bei 67° 43′ beim Diamant, werden die Axen aller Partikel in Parallelismus mit der Reflexionsebene gebracht; und wenn man also das Bild, welches sie geben, durch das Kalkspath-Rhomboeder betrachtet, werden sie alle in das gewöhnliche Bild übergehen, zum Beweise, daß sie sämmtlich in der Reflexionsebene polarisirt sind.

Gehen wir nun zu den Winkeln über, bei denen der Bündel nur partiell polarisirt ist. Bei 80° z. B. (auf Glas) beträgt der Winkel zwischen den Flächen ab, cd 66°, d. h. jede der Polarisationsebenen ist aus der Neigung von 45° in die von 33° gegen die Reflexionsebene gedreht. Das Licht ist daher jetzt weder natürliches, noch polarisirtes. Es ist nicht natürliches Licht, weil seine Polarisationsebenen nicht rechtwinklich gegen einander sind, und eben so wenig ist es polarisirtes Licht, weil diese Ebenen nicht parallel sind. Es ist vielmehr Licht, dessen physischer Character darin besteht, daß die eine Hälfte desselben gegen die andere unter einem Winkel von 66° polarisirt ist.

**Beleg 2).** Für den Umstand, daß die Polarisationsebenen zweier rechtwinklich gegen einander und um 45° rechts und links gegen die Einfallsebene polarisirter Stralen bei Brechung durch eine durchsichtige Oberfläche ihren gegenseitigen Neigungswinkel vergrößern und sich so der Rechtwinklichkeit gegen die Brechungsebene nähern, um so mehr, je näher der Einfallswinkel an 90° ist, führt Brewster folgende Versuche *) an, die zugleich zur Erläuterung der Formeln (4) und (5) dienen können.

Nimmt man eine Glasplatte, deren Flächen nicht ganz parallel sind, damit das Hauptbild nicht zusammenfalle mit den von den inneren Flächen reflectirten Bildern, so sieht man, selbst bei großen Schiefen, das durchgelassene Licht frei von jeder Beimengung von reflectirtem Lichte. Es sei nun diese Platte auf einen getheilten Kreis gelegt, so daß man durch sie zwei Stralen polarisirten Lichtes, deren Querschnitte A und B sind (Fig. 70.), erblicken kann, die durch Doppelbrechung entstanden sind und mit ihren Polarisationsebenen unter + 45° und — 45° gegen die Refractionsebene MN neigen. Bei dem Einfallswinkel 0°, also bei senkrechtem Durchgange des Lichtes, erleidet die Lage der Polarisationsebenen keine Veränderung; allein bei einer Incidenz von 30° sind sie um 40′ gedreht, so daß ihre Neigung gegen MN oder der halbe Winkel aec = 45° 40′ betragen wird. Bei 45° ist diese Neigung 46° 47′; bei 60° ist sie 50° 7′, und so nimmt sie zu bis 90° Incidenz, wo sie 66° 19′ beträgt. Das Maximum der Veränderung, welche eine einzelne Glasplatte in der Lage der Polarisationsebenen hervorbringt, ist demnach: 66° 19′ — 45° = 21° 19′, und sie kommt derjenigen gleich, welche die Reflexion bei Winkeln von 39° und 70° erzeugt.

In diesem Versuche wirken die beiden Flächen zugleich, und er muß daher nach Formel (5) beurtheilt werden. Um die von einer einzigen Fläche hervorgebrachte Drehung zu erhalten, nahm Brewster ein gut abgekühltes Glasprisma ABC (Figur 71.), an dem der Winkel BAC eine solche Größe hatte, daß ein möglichst schief einfallender Stral RR in der Richtung Rr, senkrecht gegen die Fläche AC ausfahren mußte, und ließ den Stral so nahe als möglich am Scheitel A einfallen, wo das Glas am dünnsten und folglich am freiesten von irgend einem polarisirenden Gefüge war. Auf diese Weise erhielt er folgende Messungen.

**Glas.**

| Einfallswinkel. | Neigung der Ebenen ab und cd (Figur 70.) gegen die Reflexionsebene. | Drehung. |
|---|---|---|
| 87°38′ | 54°15′ | 9°15′ |
| 54 50 | 47 25 | 2 25 |
| 32 20 | 45 22 | 0 22 |

*) Pogg. XIX. 282.

Die folgenden Versuche stellte er mit einem parallelflächigen Stücke Tafelglas und mit einem sehr dünnen Stücke Kronglas an, welches letztere den Vortheil darbot, daß es das reflectirte Licht von dem durchgehenden trennte.

| | Tafelglas | | Kronglas | |
|---|---|---|---|---|
| Einfallswinkel. | Neigung. | Drehung. | Neigung. | Drehung. |
| 0° | 45° 0′ | 0° 0′ | 45° 0′ | 0° 0′ |
| 40 | 47 28 | 2 28 | 47 18 | 2 18 |
| 55 | 49 35 | 4 35 | 49 19 | 4 19 |
| 67 | 52 53 | 7 53 | 52 16 | 7 16 |
| 80 | 58 53 | 13 53 | 58 42 | 13 42 |
| 86½ | 61 16 | 16 16 | 61 0 | 16 0 |

Um ferner den Einfluß der Brechkraft zu ermitteln, stellte er nachstehende Versuche an:

Schicht Seifenwasser *).

| Einfallswinkel. | Neigung. | Drehung. |
|---|---|---|
| 85° | 54° 17′ | 9° 17′ |

Metallisches Glas von sehr starker Brechkraft (Dünne Platte).

| Einfallswinkel. | Neigung. | Drehung. |
|---|---|---|
| 0° | 45° 0′ | 0° 0′ |
| 20 | 45 42 | 0 42 |
| 30 | 46 50 | 1 50 |
| 40 | 48 0 | 3 0 |
| 55 | 51 12 | 6 12 |
| 80 | 62 32 | 17 32 |

Es geht aus diesen Versuchen hervor, daß die Drehung mit der Ablenkung des gebrochenen Strales variirt (d. h. mit $i - i'$, dem Unterschiede des Einfalls- und Brechungswinkels), daß bei dem Einfallswinkel 0° ein Minimum, bei 90° ein Maximum Statt findet, Umstände, die durch die Formel wirklich repräsentirt werden. Daß dies auch für die zwischenfallenden Werthe der numerischen Ergebnisse noch der Fall ist, geht aus folgendem Belege hervor.

Beleg 3) für Formel (5) geltend. Brewster nahm eine Platte gut abgekühlten Glases, welche bei allen Einfallswinkeln die reflectirten Stralen von den durchgelassenen sonderte und deren Brechungsverhältniß nahe gleich 1,510 war, und erhielt bei einem Stral, der um 45° gegen die Einfallsebene polarisirt war, folgende Resultate damit.

*) Über ein Rähmchen von Kupferdraht ausgespannt.

**) Pogg. XIX. 287.

| Einfallswinkel. | Refractionswinkel. | Drehung $\varphi_2 - 45°$. beobachtet. | Neigung $\varphi_2$ beobachtet. | Neigung $\varphi_2$ berechnet. | Unterschied. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 0° 0′ | 0° 0′ | 45° 0′ | 45° 0′ | |
| 10 | 6 36½ | 0 13 | 45 13 | 45 6 | + 0° 7′ |
| 20 | 13 5 | 0 27 | 45 27 | 45 25 | + 0 2 |
| 25 | 16 15 | 0 32 | 45 32 | 45 40 | — 0 8 |
| 30 | 19 20 | 0 40 | 45 40 | 46 0 | — 0 20 |
| 35 | 22 19 | 1 12 | 46 12 | 46 25 | — 0 13 |
| 40 | 25 10 | 1 30 | 46 30 | 46 56 | — 0 26 |
| 45 | 27 55 | 1 42 | 46 47 | 47 34 | + 0 47 |
| 50 | 30 29 | 2 48 | 47 42 | 48 24 | — 0 42 |
| 55 | 33 52 | 3 54 | 48 54 | 48 59 | — 0 5 |
| 60 | 35 0 | 5 7 | 50 7 | 50 36 | — 0 29 |
| 65 | 36 53 | 6 48 | 51 48 | 52 7 | — 0 19 |
| 70 | 38 29 | 8 7 | 53 7 | 53 59 | — 0 52 |
| 75 | 39 45 | 9 55 | 54 55 | 56 18 | — 1 23 |
| 80 | 40 42 | 12 10 | 57 10 | 59 5 | — 1 55 |
| 85 | 41 17 | 15 45 | 60 45 | 62 24 | — 1 39 |
| 86 | 41 21 | 16 39 | 61 39 | 63 9 | — 1 30 |
| 90 | 41 28 | | | 66 19 | |

Die Übereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Werthen ist ziemlich befriedigend, da der Unterschied im Mittel nur 41′ beträgt. Da indeß die Unterschiede fast sämmtlich negativ sind, so vermuthete Brewster in der Adjustirung des Instrumentes einen Fehler, und in der That, als er die Messung bei 80° Incidenz, als der fehlerhaftesten, wiederholte, fand er die Neigung $\varphi_2$ gleich 58° 40′, welches den Unterschied von 1° 55′ auf 25′ herabbringt. Die übrigen Beobachtungen hielt der Verfasser für unnöthig zu wiederholen, indem er den besten Beweis der Genauigkeit der Formel darin fand, daß, wenn er das zerlegende Kalkspath-Rhomboeder in die berechneten Neigungen $\varphi_2$ brachte, das ungewöhnliche Bild jedesmal verschwand.

Beleg 4). Folgende Tabellen enthalten die Resultate von Brewster's Versuchen, zusammengestellt mit den nach der Formel (8) berechneten Resultaten.

Tafelglas (von 1,426 Brechungsverhältniß); a = 45°.

| Einfallswinkel i. | Refractionswinkel i'. | Neigung $\varphi$ der Polarisationsebene gegen die Reflexionsebene | | Unterschied. |
|---|---|---|---|---|
| | | beobachtet. | berechnet. | |
| 90° | 0° 0' | 45° 0' | 45° 0' | 0° 0' |
| 88 | 42 23 | 43 4 | 42 49 | + 0 35 |
| 86 | 42 17 | 40 43 | 40 36 | + 0 7 |
| 84 | 42 8 | 38 47 | 38 22 | + 0 25 |
| 80 | 41 37 | 33 13 | 33 46 | — 0 33 |
| 75 | 40 40 | 28 45 | 27 41 | + 1 4 |
| 70 | 39 20 | 22 6 | 21 3 | + 1 3 |
| 65 | 37 41 | 14 40 | 13 53 | + 0 47 |
| 60 | 35 45 | 6 10 | 6 16 | — 0 6 |
| 56 | 34 0 | 0 0 | 0 0 | 0 0 |
| 50 | 31 22 | 9 0 | 9 0 | 0 0 |
| 45 | 28 29 | 16 55 | 16 31 | + 0 24 |
| 40 | 25 42 | 22 37 | 23 1 | — 0 24 |
| 30 | 19 43 | 32 25 | 33 19 | — 0 54 |
| 20 | 13 20 | 39 0 | 40 4 | — 1 4 |
| 10 | 6 44 | 44 0 | 43 49 | + 0 11 |

Diamant von 2,440 Brechungsverhältniß; a = 45°.

| Einfallswinkel i. | Refractionswinkel i'. | Neigung $\varphi$ der Polarisationsebene gegen die Reflexionsebene | | Unterschied. |
|---|---|---|---|---|
| | | beobachtet. | berechnet. | |
| 90° 0' | 24°12' | 45° 0' | 45° 0' | 0° 0' |
| 85 0 | 24 6 | 34 30 | 33 56 | + 0 34 |
| 80 0 | 23 48 | 24 0 | 23 12 | + 0 48 |
| 75 0 | 23 19 | 14 30 | 13 8 | + 1 22 |
| 70 0 | 22 39 | 4 30 | 3 54 | + 0 36 |
| 67 43 | 22 17 | 0 0 | 0 0 | 0 0 |
| 60 0 | 20 47 | 12 30 | 11 41 | + 0 49 |
| 50 0 | 18 18 | 24 0 | 23 30 | + 0 30 |

Quarzkrystall (auf einer schönen natürlichen Säulenfläche); $i = 75°$.

| Werth von a. | Neigung der Polarisationsebene | | Unterschied. |
|---|---|---|---|
| | $\varphi$ beobachtet. | $\varphi$ berechnet. | |
| 9° | 0° 0′ | 0° 0′ | 0° 0′ |
| 10 | 4 54 | 4 29 | + 0 25 |
| 20 | 10 0 | 10 16 | — 0 16 |
| 30 | 15 50 | 16 2 | — 0 12 |
| 35 | 20 0 | 19 12 | + 0 48 |
| 40 | 23 30 | 22 40 | + 0 50 |
| 45 | 26 20 | 26 27 | — 0 7 |
| 50 | 30 0 | 30 40 | — 0 40 |
| 55 | 35 30 | 35 23 | + 0 7 |
| 60 | 40 0 | 40 45 | — 0 45 |
| 70 | 53 0 | 53 49 | — 0 49 |
| 80 | 70 0 | 70 29 | — 0 29 |
| 90 | 90 0 | 90 0 | 0 0 |

Die dritte Spalte der letzten Tabelle ist nach der Formel $\tang \varphi = \tang a \tang 26° 27'$ berechnet, da für $a = 45°$, wo

$$\tang \varphi = \frac{\cos (i + i')}{\cos (i - i')},$$

sich $\varphi = 26° 27'$ ergab, mithin

$$\frac{\cos (i + i')}{\cos (i - i')} = \tang 26° 27'.$$

Beleg 5). Folgende Tabelle enthält die Resultate von Brewster's Versuchen, zusammengestellt mit den Ergebnissen der Formel (13).

Glas, von nahe 1,510 Brechungsverhältniß; i = 80°.

| Werth von a. | Neigung $\varphi_2$ | | Unterschied. |
|---|---|---|---|
| | beobachtet. | berechnet. | |
| 0° | 0° 0′ | 0° 0′ | 0 0 |
| 2½ | 7 10 | 7 20 | + 0 10 |
| 5 | 9 40 | 8 19 | + 0 21 |
| 10 | 17 10 | 16 25 | + 0 45 |
| 15 | 24 42 | 24 6 | + 0 36 |
| 20 | 32 30 | 31 19 | + 1 11 |
| 25 | 39 15 | 37 54 | + 1 21 |
| 30 | 44 10 | 43 57 | + 0 13 |
| 35 | 49 38 | 49 28 | + 0 10 |
| 40 | 54 36 | 54 31 | + 0 5 |
| 45 | 58 40 | 59 5 | — 0 25 |
| 50 | 63 10 | 63 19 | — 0 9 |
| 55 | 66 58 | 67 15 | — 0 17 |
| 60 | 70 18 | 70 56 | — 0 38 |
| 65 | 74 8 | 74 24 | — 0 16 |
| 70 | 76 56 | 77 42 | — 0 46 |
| 75 | 79 20 | 80 53 | — 1 33 |
| 80 | 83 23 | 83 58 | — 0 35 |
| 85 | 86 23 | 86 0 | + 0 23 |
| 90 | 90 0 | 90 0 | 0 0 |

Die vorletzte Columne wurde nach der Formel $\cot \varphi_2 = \cot a \cot 58° 40'$ *) berechnet, da für $a = 45°$ sich $\varphi_2 = 58° 40'$ fand.

Beleg 6). Brewster fand (Pogg. XIX. 275) bei Tafelglas von 1,525 Brechungsverhältniß, daß das Licht durch zwei Reflexionen bei 61° 3′ und in einem andern Versuche bei 60° 28′ merklich (d. h. für die Wahrnehmung) vollständig polarisirt war. Dies stimmt mit den angeführten Formeln überein, indem wir, wenn wir die Menge des polarisirten Lichtes, die nach den beiden Zurückwerfungen im zurückgeworfenen Lichte enthalten ist, nach Formel (24) oder (25), oder auch durch Combination von Formel (27) mit Formel (2) berechnen, diese Quantität so groß finden, daß der Rückstand unpolarisirten Lichtes der Wahrnehmung bei Versuchen darüber entgehen muß; und zu demselben Resultate gelangen wir auch durch bloße Berechnung des Winkels $\varphi_2$ nach Formel (2), indem dieser Winkel verschwindend klein wird, was der Character der merklich erreichten vollständigen Polarisation ist.

*) Fälschlich steht in Pogg. XIX. statt dessen $\cos^2 58° 40'$.

| | $\varphi_1$ nach der ersten Reflexion | $\varphi_2$ nach der zweiten Reflexion | Menge des unpolarisirten Lichtes *) nach zwei Reflexionen |
|---|---|---|---|
| Zwei Reflexionen bei 61° 8′ | 6° 45′ | 0° 47′ | 0,00067 |
| 62° [illegible] | [illegible] | 0° [illegible] | 0,00018 |

Auf gleiche Weise fand Brewster, daß das Licht nach fünf Reflexionen bei 70° merklich vollständig polarisirt war. Die Formeln geben hier:

| Nach der | Werthe von $\varphi_n$ | Menge des unpolarisirten Lichtes |
|---|---|---|
| 1sten Reflexion bei 70° | 10° 0′ | 0,25392 |
| 2ten — — | 7° 32′ | 0,08452 |
| 3ten — — | 2° 45′ | 0,00460 |
| 4ten — — | 1° 0′ | 0,00060 |
| 5ten — — | 0° 22′ | 0,00006 |

In einem andern Versuche fand Brewster, daß das Licht an der Gränzfläche von Glas und Wasser unter folgenden Winkeln merklich vollständig polarisirt war:

| | Werthe von $\varphi_n$ | Menge des unpolarisirten Lichtes |
|---|---|---|
| Nach 2 Reflexionen bei 44° [illegible] | 0° 56′ | 0,0005 |
| 3 — — 42° [illegible] | 0° 2[illegible]′ | 0,0001 |

In allen diesen Fällen waren die Winkel bei den successiven Reflexionen einander gleich; daß aber auch die Formeln, welche für successive Zurückwerfungen unter ungleichen Winkeln gegeben sind, gültig sind, ergiebt sich aus folgenden Beobachtungen, wo nach den angegebenen Zurückwerfungen der Stral sich ebenfalls merklich vollständig polarisirt zeigte:

a) Beide Winkel größer als der Polarisationswinkel:

| | $\varphi_2$ | Menge des unpolarisirten Lichtes |
|---|---|---|
| Eine Reflexion bei 58° 2′ und eine bei 67° 2′ | 0° 34′ | 0,0002 |

b) Ein Winkel größer, der andere kleiner als der Polarisationswinkel:

| | $\varphi_2$ | Menge des unpolarisirten Lichtes |
|---|---|---|
| Eine Reflexion bei 53° und eine bei 58° 2′ | 0° 12′ | 0,00002[illegible] |

Berey 7). Zum Erweise, daß die Formel (33) in Verbindung mit Formel (6) wirklich dienen kann, die Anzahl Brechungen durch parallelflächige Glasplatten (unter stets demselben Einfallswinkel) zu bestimmen, welche hinreichend ist, einen zuerst im natürlichen Zustande einfallenden Stral merklich vollständig zu polarisiren, führt Brewster folgende Versuche **) an. Zu bemerken ist dabei, daß die Polarisation dann vollständig sein würde, wenn $\varphi_n = 90°$ (durch Formel (6)), mithin $\cos\varphi_n = 0$ gefunden würde, weil dann $Q_1$ in Formel (33) $= 1$, d. i. gleich der

*) Die des zurückgeworfenen Lichtes = 1 gesetzt.

**) Pogg. XIX. [illegible]

ganzen Quantität gebrochenen Lichtes sein würde. Das Folgende zeigt wenigstens große Annäherungen an diese Gränzen.

Bei einem Versuche ward das Licht einer Wachskerze in einer Entfernung von 10 oder 12 Fuß durch 8 Platten oder 16 parallele Flächen von Tafelglas unter einem Einfallswinkel von 78° 52′ merklich vollständig polarisirt. Die Formel giebt

$\cot \varphi = \cos^{16} (i - i')$ und $\varphi = 88° 50'$.

Daß in der That ein Lichtstral, dessen Polarisationsebene einen Winkel von 88° 50′ mit der Brechungsebene macht, für die Wahrnehmung vollständig polarisirt erscheint, wenn er die Intensität des geprüften Kerzenlichtes hat, davon überzeugte sich Brewster durch directe Versuche:

Bei einem Einfallswinkel von 61° 0′ erschien das Lichtbündel durch 24 Platten oder 48 Flächen merklich vollständig polarisirt. Hier hat man

$\cot \varphi = \cos^{48} (i - i')$; also $\varphi = 89° 36'$.

Bei einem Einfallswinkel von 43° 34′ wurde das Licht durch 47 Platten oder 94 Flächen merklich polarisirt; dies giebt:

$\cot \varphi = \cos^{94} (i - i')$ und $\varphi = 88° 27'$.

## Instrument zur Messung des Polarisationswinkels, von Seebeck *).

Folgendes Instrument hat Seebeck d. J. bei seinen (im folgenden Artikel mitzutheilenden) Versuchen über das Brewster'sche Gesetz, welches den Zusammenhang des Brechungsindex mit dem Polarisationswinkel ausdrückt, angewandt.

AAA (Fig. 74.) ist ein getheilter Kreis von 6 Zoll Durchmesser, der in verticaler Stellung unbeweglich stehen bleibt. Die Alhidade BC trägt bei C den Nonius, welcher die Winkel bis 1 Minute angiebt. Sie erhält ihre Bewegung durch das an ihrem andern Ende befindliche, auf dem gezähnten Rande des Kreises laufende Trieb B. An die Alhidade ist mit den Schrauben a, a ein messingener Rahmen bbb angeschraubt, dessen obere Fläche senkrecht gegen den Limbus steht und der Collimationslinie der Alhidade entspricht, und in dessen kreisrunden Ausschnitt ein messingener Ring ccc von 10 Linien Durchmesser eingelassen ist, so daß der Ring in dem Rahmen gedreht werden kann. In diesen Ring wird bei X die zu untersuchende Fläche mit Wachs so eingesetzt, daß sie mit der obern Fläche des Ringes und des Rahmens in einer Ebene liegt, also mit einer durch die Collimationslinie der Alhidade winkelrecht gegen den Limbus gelegten Ebene coincidirt. — An der Stelle, wo 0° angeschrieben ist, trägt der Kreis eine fast 2 Zoll lange, innen geschwärzte Röhre dd′, welche ganz verschlossen ist, und nur an ihrer vordern und hintern Wand bei d und d′ eine feine Öffnung hat, durch welche von einer Öllampe D ein Lichtpinsel dd′X, parallel dem durch 0° und 180° gezogenen Durchmesser, nach der Mitte des

*) Pogg. XX. 32.

Auges d' also auf die zu untersuchende Fläche X fällt. Unter den vorausgesetzten Bedingungen giebt der Nonius unmittelbar den vom Lichtpinsel mit der Fläche gebildeten Winkel an, d. h. das Complement des Einfallswinkels. — Der Lichtpinsel d'X wird nun von der Fläche X reflectirt, und dieses reflectirte Licht ist durch die Spiegelung mehr oder weniger vollkommen polarisirt. Wenn man daher durch ein Stück Kalkspath, dessen Hauptschnitt entweder dem Limbus parallel oder rechtwinklich gegen denselben ist, das gespiegelte Bild der Öffnung d' betrachtet, so wird man zwei Bilder wahrnehmen, von denen das eine viel weniger intensiv ist, als das andere. Will man nun den Einfallswinkel finden, bei welchem die Polarisation des gespiegelten Lichtpinsels am vollkommensten ist, d. h. wo das schwächere Bild sein Minimum der Lichtstärke erreicht, so muß das mit dem Kalkspathe bewaffnete Auge des Beobachters dem gespiegelten Strale folgen, während die Alhidade hin und her geführt wird. Damit dies mit Bequemlichkeit geschehen könne, ist an dem Instrumente folgende Einrichtung getroffen. An der hinteren Seite des Kreises ist eine zweite Alhidade EG angesetzt. Diese trägt 1) einen gezähnten Bogen ee, dessen Zähne in die Zähne des Triebes B eingreifen, und 2) an diesem Bogen eine runde Kapsel Fff, deren eine Seite ff ganz offen ist, die andere aber bei F eine Öffnung von $\frac{1}{10}$ Zoll Durchmesser hat. Jeder Zahn, sowohl des Bogens ee als des Kreises AAA, beträgt 1 Grad. Indem nun das Trieb B von der einen Seite in die Zähne des feststehenden Kreises AAA, von der andern in die des beweglichen Bogens ee eingreift, bewegt es, wenn es gedreht wird, 1) sich selbst in Beziehung auf den Kreis AAA, zugleich aber 2) den Bogen ee in Beziehung auf sich um eben so viele Grade. Wie man demnach auch das Trieb B führen mag, so werden die Winkel CXd' und BXF um gleich viel wachsen oder abnehmen, und wenn man daher der Alhidade EG für einen Stand der Alhidade BC eine solche Stellung gegeben hat, daß $\angle BXF = \angle CXd'$, so werden diese beiden Winkel für jeden Stand einander gleich bleiben. In diesem Falle aber wird der einfallende Stral d'X nach der Öffnung F reflectirt. Durch diese Einrichtung wird also hervorgebracht, daß der gespiegelte Stral stets durch die Öffnung F geht, wie man auch die Alhidade BC führen mag, und der Beobachter hat, um dem gespiegelten Stral stets mit dem Auge zu folgen, dasselbe nur immer über der Öffnung F zu halten. — Die Kapsel Fff enthält den Kalkspath, welcher, damit die beiden Bilder stärker aus einander treten, schwach prismatisch geschliffen ist. Der gemeinschaftliche Hauptschnitt beider Flächen dieses Prismas ist ein für allemal rechtwinklich gegen den Limbus gestellt, so daß das ordinäre Bild das verschwindende ist.

Der Gebrauch des Instrumentes ist demnach dieser: indem ich durch die Öffnung F nach der bei X eingesetzten spiegelnden Fläche sehe, führe ich die Alhidade hin und her, bis das durch die ordinäre Brechung gesehene Spiegelbild der Öffnung d' entweder ganz verschwindet, oder das

Minimum seiner Intensität erreicht. Lese ich nun den vom Nonius C angezeigten Winkel ab, so habe ich das Complement des gesuchten Polarisationswinkels.

Die Fehler, welche entstehen, wenn die zu untersuchende spiegelnde Fläche nicht ganz genau der obern Fläche des Rahmens parallel eingesetzt ist, werden corrigirt, wenn man nach einer oder mehreren Messungen den Ring ccc sammt der spiegelnden Fläche in dem Rahmen bbb um 180° dreht, nun eben so viele Messungen macht, und aus beiden das Mittel nimmt, weil in beiden Fällen jene Fehler im entgegengesetzten Sinne ausfallen.

Da das Schwächerwerden und Verschwinden des zu beobachtenden Spiegelbildes sehr allmälig erfolgt, so kann nicht ohne einige Unsicherheit*) geschätzt werden, bei welchem Stande der Alhidade jenes Bild sein Minimum der Lichtstärke erreiche, und es ist, um einen zuverlässigern Werth des Polarisationswinkels zu erhalten, nothwendig, das Mittel aus einer nicht zu unbeträchtlichen Anzahl Messungen zu nehmen.

Seebeck stellte bei den Versuchen, wovon im nächsten Artikel die Rede sein wird, auf jeder der untersuchten Flächen eine Reihe von 20 oder mehr Messungen an. Die größte Differenz zwischen den einzelnen gemessenen Werthen und den Mittelwerthen betrug in den meisten Fällen nicht viel über 20′, und nur in sehr wenigen über 30′. Die Mittelwerthe aus 20, auch schon aus 10 Messungen, für eine und dieselbe Fläche, wichen nur um wenige Minuten von einander ab.

### Bestätigung des Brewster'schen Gesetzes über den Zusammenhang zwischen Brechungsvermögen und Polarisationswinkel, von Seebeck**).

Bekanntlich hatte Brewster (Philos. transact. 1815.) aus Versuchen (mit 18 Substanzen) das Gesetz abgeleitet, zufolge dessen der Brechungsinder gleich der Tangente des Polarisationswinkels ist. Die Vergleichung der nach diesem Gesetze berechneten Winkel mit den beobachteten Winkeln bei seinen Versuchen ließ indeß doch größere Differenzen (von + 25′ bis — 32′) finden, als mit der Genauigkeit dieses Gesetzes vereinbar erscheint, und wiewohl diese Abweichungen zum Theil dadurch erklärbar werden, daß mehrere der von ihm geprüften Substanzen doppelt brechender Natur sind, für welche späteren Untersuchungen Brewster's zufolge***) der Polarisationswinkel veränderlich ist, so zeigen doch auch die von ihm untersuchten Gläser nicht zu vernachlässigende Abweichungen von dem Gesetze der Tan-

*) Diese Unsicherheit findet besonders dann Statt, wenn die Polarisation weniger vollkommen ist, was im Allgemeinen bei den stärker brechenden Substanzen, z. B. in hohem Grade bei der Blende, der Fall ist.

**) Auszug aus einer Dissertation Observationes de corporum lucem simpliciter refringentium angulis polarisationis. Berol. 1830. in Pogg. XX. 27.

***) Phil. transact. 1819. oder Biot VI. 134 Anm.

[illegible] das Brechungsvermögen dieser Oberfläche und folglich der Polarisations- [illegible] dann an ganz frisch von ihm selbst geschliffenen Flächen [illegible] lediglich den zufälligen Beobachtungsfehlern zugeschrieben werden. Die beobachteten Werthe sind im Allgemeinen jeder das Mittel aus 20 Messungen.

| Namen der Substanzen. | Brechungs-index **) | Berechneter Polarisationswinkel | Beobachteter Polarisationswinkel | Differenz |
|---|---|---|---|---|
| Farbloser Flußspath . . | 1,4341 | 55° 6′,7 | 55° 6′,7 | 0°0′,0 |
| Bläulicher Flußspath . . | 1,4343 | 55 7 ,0 | 55 8 ,8 | — 0 3 ,2 |
| Gemeiner Opal . . . . | 1,4516 | 55 26 ,3 | 55 29 ,3 | + 0 3 ,0 |
| Farbloses engl. Tafelglas | 1,5130 | 56 32 ,2 | 56 36 ,0 | + 0 3 ,8 |
| Farbloses Tafelglas . . | 1,5266 | 56 46 ,4 | 56 45 ,5 | — 0 0 ,9 |
| Englisches Crownglas . | 1,5321 | 56 52 ,0 | 56 50 ,2 | — 0 1 ,8 |
| Englisches Crownglas . | 1,5523 | 57 12 ,6 | 57 12 ,6 | 0 0 ,0 |
| Englisches Flintglas . . | 1,5783 | 57 38 ,5 | 57 41 ,0 | + 0 2 ,5 |
| Englisches Flintglas . . | 1,6206 | 58 19 ,4 | 58 16 ,6 | — 0 2 ,8 |
| Pyrop . . . . . . . | 1,8136 | 61 7 ,7 | 61 4 ,0 | — 0 3 ,7 |
| Gelbe Blende . . . . | 1,3692 | 67 7 ,0 | 67 8 ,2 | + 0 1 ,2 |

Summe der positiven Differenzen . . . 10′,5
„ „ negativen „ . . . 12′,4

Es muß bemerkt werden, daß ein reiner natürlicher Zustand der Flächen sehr wesentlich ist, wenn man wirklich so genaue Resultate erhalten will;

*) Sie wurden auf einer Glastafel mit Schmirgel und Wasser geschliffen, auf Seiden- oder Baumwollenzeug mit Colcothar und Wasser polirt und hierauf mit Wasser abgewaschen.

**) Gültig für den mittleren Theil des Spectrums einer Öllampe.

in der That, als Seebeck bei früheren Versuchen die Polarisationswinkel auf denselben Flächen maß, welche vorher als Flächen der Prismen zur Bestimmung des Brechungsverhältnisses gedient hatten, deren meiste 6 bis 8 Monate zuvor vom Mechanicus geschliffen waren, zeigten sich Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Werthen, welche bei einigen Substanzen auf 38′ bis 40′ stiegen, die jedoch angegebenermaßen verschwanden oder in die Gränzen der Beobachtungsirrthümer herabkamen, nachdem den Substanzen frische Flächen gegeben worden.

Seebeck glaubt übrigens, daß nicht sowohl eine chemische Änderung der Oberflächen an der Luft, als vielmehr eine zufällige mechanische Verunreinigung derselben vielleicht beim Abputzen nach dem Schleifen und Poliren durch den Mechanicus Ursache der größeren Abweichungen war. In der That fand er auf der von ihm selbst polirten Fläche des Glases, welches die Differenz — 0° 1′,8 gegeben hatte, den Polarisationswinkel im Mittel aus 20 Messungen nach 6 Wochen 56° 54′,6, nach 14 Wochen 56° 51′,8, nach 6 Monaten 56° 54′,0, wovon die theils positiven, theils negativen Differenzen ganz innerhalb der Gränzen der zufälligen Beobachtungsfehler liegen, so daß die Oberfläche durch die Zeit keine Veränderung erlitten zu haben schien. Als er dagegen die von ihm selbst geschliffene Fläche des Glases, welches die Differenz + 2′,5 gegeben hatte, hierauf vom Mechanicus schleifen und poliren ließ und nun so, wie er sie von diesem erhielt, untersuchte, fand er den Polarisationswinkel 58° 7′,0, was die Differenz + 0° 28,5 giebt. Da an denselben Prismen die früheren Versuche — 0° 23′ bis 0° 38′ Differenz gegeben hatten, diese mithin hier negativ gewesen war, so scheint die Behandlung durch den Mechanicus einen sehr zufälligen und veränderlichen Einfluß zu haben.

## Über den Polarisationswinkel am Kalkspath, von Seebeck d. J. *).

In den doppelt brechenden Körpern findet, wie schon Brewster **) entdeckt hat, kein constanter Winkel des Polarisationsmaximum Statt, sondern dieser hängt ab von der Neigung der Einfallsebene und der Einfallsoberfläche gegen die Axe. Da Brewster diese Abhängigkeit nur unvollständig untersucht und durch ungenügende Formeln ausgedrückt hat, so unternahm Seebeck eine neue Prüfung derselben, vorläufig nur am Kalkspath.

Ich werde im Folgenden zuerst die directen allgemeinen Erfahrungsergebnisse Seebeck's und die Formeln, so weit sich jene dadurch ausdrücken lassen, anführen, dann die speciellen Data der Beobachtungen hinzufügen.

Bemerkt mag werden, daß Seebeck, wo er nicht natürliche Bruchflächen anwandte, stets selbst geschliffene Flächen den Versuchen unterwarf,

*) Pogg. XXI. 290; XXII. 126.

**) Philos. transact. f. 1819.

[illegible] Kreide und destillirtem Wasser polirt waren, da das Poliren mit Colcothar oder Zinnasche Veränderungen in der Oberfläche hervorbringt, die [illegible] fremdartige Änderungen in dem Polarisationswinkel bestimmten.

## Allgemeine Resultate der Beobachtungen und Formeln zum Ausdrucke derselben.

Es heiße im Folgenden λ das Complement des Winkels, welchen die Einfallsfläche *) mit der Axe macht, μ den Winkel, welchen der Hauptschnitt mit der Einfallsebene macht, n der [illegible] Index der gewöhnlichen, [illegible] der ungewöhnlichen Brechung.

1) Für jede bestimmte Einfallsfläche, d. h. für jeden constanten Werth von λ, erreicht der Polarisationswinkel sein Minimum, wenn die Einfallsebene der Ebene des Hauptschnittes parallel, d. h. wenn μ = 0° ist, und wächst mit zunehmendem μ, bis μ = 90°, wo er sein Maximum für diese Fläche erreicht. Der Unterschied zwischen diesem Maximum und Minimum ist um so größer, je größer λ ist.

2) Für jeden constanten Werth von μ erreicht der Polarisationswinkel sein Minimum bei λ = 90° und wächst bei abnehmendem λ bis λ = 0°, [illegible] wo er sein absolutes Maximum erreicht.

3) Aus dem Vorigen folgt, daß er sein absolutes Minimum erreicht, wenn λ = 90° und μ = 0° ist, d. h. auf einer Fläche parallel der Axe, wenn diese Axe selbst der Reflexionsebene parallel ist.

4) Wenn die Einfallsebene senkrecht auf die Axe und die Einfallsfläche ihr parallel ist, so ist die Tangente des Polarisationswinkels gleich dem Index der gewöhnlichen Brechung, so daß in diesem Falle der Einfluß des ungewöhnlichen Brechungsvermögens auf den Polarisationswinkel ganz aufzuhören scheint.

5) Ein Stral, der durch Zurückwerfung auf irgend einer Schnittfläche des Kalkspathes die möglichst vollständige Polarisation erlangt hat, ist im Allgemeinen nicht in der Reflexionsebene polarisirt, sondern in einer Ebene, welche mit dieser einen Winkel bildet, der je nach der Lage der Axe verschieden, aber immer nur klein ist, wenn die Zurückwerfung in Luft erfolgt **). Diese kleine (höchstens einige Grade betragende) Ablenkung der Polarisationsebene wird jedoch = 0, d. h. die Polarisationsebene fällt mit der Zurückwerfungsebene zusammen: a) auf allen Flächen, wenn der Hauptschnitt mit der Zurückwerfungsebene coincidirt, d. h. für jeden Werth

*) d. i. die Oberfläche des Kalkspathes, auf welcher der Stral einfällt.

**) Brewster vermochte diese Ablenkung der Polarisation beim Übergange aus Luft in Kalkspath nicht wahrzunehmen, wohl aber beim Übergange aus mehreren Flüssigkeiten, besonders Cassiaöl in Kalkspath. Die Ablenkung ist hier viel stärker als sie Seebeck (an frischen Bruchflächen) beim Übergange aus Luft in den Krystall beobachtete. Übrigens hat Seebeck diese Ablenkung nicht genauer untersucht.

von $\lambda$, wenn $\mu = 0$ oder 180°; und b) auf den der Axe parallelen Flächen auch dann, wenn diese Axe senkrecht gegen die Zurückwerfungsebene liegt, d. h. für $\lambda = 90°$, wenn $\mu = 90°$.

6) Nennt man überhaupt

a den Polarisationswinkel bei $\lambda = 90°$ und $\mu = 0°$
b — — — $\lambda = 90$ und $\mu = 90$
c — — — $\lambda = 0$
$\alpha$ — — — $\lambda$ beliebig, und $\mu = 0$

so findet man folgende Relationen:

$$\text{tang } b = n \qquad (1)$$

$$\text{tang } a = n \sqrt{\frac{m^2 - 1}{n^2 - 1}} \qquad (2)$$

$$\text{tang } c = m \sqrt{\frac{n^2 - 1}{m^2 - 1}} \qquad (3)$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{n^2 (m^2 - 1) \sin^2 \lambda + m^2 (n^2 - 1) \cos^2 \lambda}{m^2 n^2 - 1} \qquad (4)$$

oder was auf dasselbe herauskommt:

$$\sin^2 \alpha = \sin^2 \lambda \sin^2 a + \cos^2 \lambda \sin^2 c \qquad (5)$$

Von den vorstehenden Formeln wurden die erste, zweite und dritte zuerst empirisch von Seebeck abgeleitet, und nachher in einer zweiten Abhandlung durch besondere Erörterungen mit Fresnel's Theorie in Bezug gesetzt. Statt der zur Bestimmung von $\alpha$ dienenden vierten oder fünften Formel hatte Seebeck anfangs eine andere, empirisch abgeleitete, gegeben, welcher er jedoch später (Pogg. XXII. 134, 136) die Formeln (4) oder (5) ebenfalls vermöge Erörterungen, die sich an Fresnel's Theorie knüpfen, substituirte; auch schließen sich die letzteren Formeln sehr wohl den Beobachtungen an, wie aus der weiter folgenden Zusammenstellung erhellt.

Die vorstehenden Formeln umfassen die Beziehungen, welche zwischen Polarisationswinkel und den Werthen von $\lambda$ und $\mu$ Statt finden, allerdings nicht allgemein, sondern gelten, wie man sieht, bloß für einige besondere Fälle; indeß scheint es nach dem bisherigen Stande der Theorie und der Erfahrungen noch nicht Zeit, allgemeine Formeln oder Formeln für die übrigen besonderen Fälle zu geben; auch hat Seebeck den, in seinem ersten Aufsatze von ihm in diesem Bezuge gemachten, Versuch später selbst für ungenügend erklärt.

Es verdient noch besondere Bemerkung, daß selbst die oben gegebenen Formeln keineswegs sich auf so streng erwiesene theoretische Vordersätze stützen, daß man sie ohne Hinzutritt von Erfahrungen für gesichert halten könnte, und daß andererseits die Erfahrungen zum Theil noch zweifelhaft lassen könnten, ob nicht auch andere Formeln denselben genügten, so daß nur durch die Übereinstimmung, welche die Folgerungen aus wahrschein-

lichen theoretischen Folgerungen darbieten, mit den Ergebnissen der Erfahrung die Sicherung jener Folgerungen für festgestellt angesehen werden darf.

### Detail der Beobachtungen.

(Die nachfolgends berechneten Werthe sind aus den Formeln (4) oder (5) hergeleitet).

| Werthe von $\lambda$ | Werthe von $\mu$ | Beobachtete Polarisationswinkel | Berechnete Polarisationswinkel |
|---|---|---|---|
| 89° 48′ | 0° 0′ | 54° 14′,9 | 54° 3′,4 |
| | 22 30 | 55 1 ,8 | |
| | 45 0 | 56 16 ,6 | |
| | 67 30 | 58 6 ,7 | |
| | 90 0 | 58 56 ,0 | |
| 89° 35′ | 0° 0′ | 54° 12′,4 | 54° 3′,4 |
| | 90 0 | 58 56 ,1 | |
| 62° 58′ | 0° 0′ | 55° 36′,1 | 55° 27′,1 |
| | 90 0 | 59 3 ,9 | |
| 44° 36′½ | 0° 0′ | 57° 19′,7 | 57° 23,2 |
| | 22 30 | 57 45 ,9 | |
| | 45 0 | 58 33 ,9 | |
| | 67 30 | 59 29 ,1 | |
| | 90 0 | 59 50 ,9 | |
| 44° 31′ | 0° 0′ | 57° 21′,9 | 57° 23,2 |
| | 90 0 | 59 47 ,7 | |
| 44° 16′½ | 0° 0′ | 57° 21′,3 | 57° 24,9 |
| | 90 0 | 59 46 ,7 | |
| 25° 58′½ | 0° 0′ | 59° 19′,0 | 59° 25,9 |
| | 90 0 | 60 14 ,8 | |
| 0° 13′ | 0° 0′ | 60° 33′,4 | 60° 47,1 |

## Polarisationswinkel am Selen *).

Den Polarisationswinkel des Selens fand Marx, von der Fläche an gezählt, = 22° 45′, also von der Normale an gezählt = 67° 15′. Das bei der vollständigen Polarisation verschwindende Bild erschien schön

*) Schweigg. LXI. 14.

dunkel stahlblau, während das andere noch sichtbar in reinem Spiegelglanze stralte. Etwas Ähnliches findet sich bei Eisenglanz und Realgar.

### Brewster's polarisirende Axen und Parallelogramm der Farben.

Marx hat die Ansicht Brewster's über die Art, wie Krystallplatten auf polarisirtes Licht wirken, nebst den sehr triftigen Gegenbemerkungen Biot's neuerdings ausführlich in Schweigg. J. LVII. 144; LVIII. 145 dargestellt *). Da diese Ansicht schon vor längerer Zeit aufgestellt worden ist und keinen Eingang bei anderen Physikern gefunden hat, so verweisen wir die, welche sie wegen des Bezuges zu den übrigen Untersuchungen Brewster's kennen zu lernen wünschen, auf die Originalabhandlung. Wir wollen hier nur hauptsächlich wegen der Beziehung der Nomenclatur Folgendes bemerken:

In einaxigen Krystallen fällt Brewster's polarisirende Axe mit der gewöhnlichen optischen Axe zusammen, in zweiaxigen Krystallen dagegen liegen Brewster's polarisirende Axen in einer Ebene, senkrecht auf der Ebene der gewöhnlichen optischen Axen, welche letzteren Brewster resultirende Axen nennt. Der Character der optischen und zugleich polarisirenden Axe in den einaxigen Krystallen ist bekanntlich, daß sie eine Farbe depolarisirt, die dem Sinus des Winkels, den der Stral mit der Axe macht, proportional ist **); der Character der polarisirenden Axen in den zweiaxigen Krystallen aber ist nach Brewster's Bestimmung folgender.

Die beiden polarisirenden Axen depolarisiren durch ihr Zusammenwirken eine Farbe T, deren Maß die Diagonale eines Parallelogrammes ist, dessen Seiten die Farben t und t′ vorstellen, welche von jeder der Axen einzeln depolarisirt werden, und die unter sich einen Winkel C einschließen, der das Doppelte ist von der Neigung der beiden Ebenen, die durch den Stral und durch jede der Axen gehen.

Brewster leitet dann auf mathematischem Wege die Lage der resultirenden oder optischen Axen aus der der polarisirenden ab, d. h. er bestimmt die Lage, welche zwei Linien dagegen haben müssen, die den bekannten Character der optischen Axen tragen, eine Farbe zu depolarisiren, die dem Producte $\sin u \sin u'$ proportional ist, wenn $u$, $u'$ die Winkel sind, die der Stral mit diesen beiden Linien macht.

Biot erklärt, und wie es scheint mit Recht, die ganze Vorstellungsart Brewster's von den polarisirenden Axen als eine überflüssige Fiction, welche den Gegenstand, anstatt ihn zu vereinfachen, vielmehr complicirter

*) Hier findet sich zugleich eine Darstellung früherer Versuche Biot's über Doppelbrechung. — Auch in Herschel's Werk über das Licht S. 571 findet sich die Ansicht Brewster's erörtert.

**) Es wird für die Farben hier der Newton'sche Maßstab (Biot V. 40) zu Grunde gelegt, d. h. sie werden ausgedrückt durch die relativen Dicken dünner Blättchen, wodurch sie zurückgeworfen werden würden.

macht und zu keinem andern Resultate führt, als die Anknüpfung der Farbenerscheinungen an die gewöhnlichen optischen Axen.

## Farbenringe oder isochromatische Curven in Krystallen durch gewöhnlich polarisirtes Licht.

Wahl und Zubereitung der Krystalle *). Um die Erscheinung der Farbenringe oder sogenannten isochromatischen Curven durch bewegliche Polarisation hervorzubringen, muß man bekanntlich Krystallplatten haben, deren Flächen senkrecht auf der optischen Axe oder (wenn es ein zweiariger Krystall ist) auf einer der beiden optischen Axen stehen, in welchem Falle die isochromatischen Curven kreisförmige Ringe sind, oder auch Platten, deren Flächen senkrecht auf der Zwischenlinie der Axen (die keinen zu großen Winkel einschließen dürfen), stehen, wo man die Lemniscaten erhält.

Die Zahl der einarigen Krystalle, an welchen sich die Ringe mit Leichtigkeit beobachten lassen, ist nach Marx nicht groß; von natürlichen Krystallen fand er bis jetzt nur den Doppelspath, Quarz, Beryll, Turmalin, Glimmer, Apophyllit, von künstlichen den unterschwefelsauren Kalk, das unterschwefelsaure Blei und das salpetersaure Natron brauchbar.

Zweiarige Krystalle giebt es sehr viele, welche die isochromatischen Curven zeigen **). Solche, bei denen schon die natürlichen Spaltflächen senkrecht auf eine der Axen sind, sind der Zucker, das unterschwefelsaure Natron und das chromsaure Kali, welches letztere jetzt von den Fabriken in sehr großen Krystallen geliefert wird ***). (Die Axenneigungen der beiden ersten sind respectiv 50° 0′; 89° 22′.) Krystalle andererseits, wo die natürlichen Spaltflächen senkrecht auf die Zwischenlinie der Axen sind, sind der Topas und sibirische Glimmer.

Unter den einarigen Krystallen giebt vorzüglich der isländische Spath, unter den zweiarigen Krystallen der Salpeter die isochromatischen Curven sehr rein, bei denen jedoch die Flächen erst künstlich zugeschnitten werden müssen. Hiebei verfährt man auf folgende Weise:

Um aus dem isländischen Spathe eine Platte senkrecht auf die Axe zuzuschneiden, muß man sich zuerst die Stärke am Krystall anzeichnen, die man wegnehmen muß. Man bezeichnet daher an den Kanten der zwei rhomboedrischen Winkel des Krystalles mit einem Zirkel Puncte, die von diesem Winkel gleich weit abstehen, und zieht dann auf den Krystallflächen

*) Herschel, Marx, Kobell in Schweigg. XLIX. 167; Pogg. XX. 343. Suppl. zu Baumg. Phys. 502; Herschel über das Licht 486.

**) Vgl. Biot IV. 350.

***) Die Krystalle des chromsauren Kali stellen gewöhnlich Zwillinge vor, und zeigen drei sehr deutliche Durchgänge, von denen der mit der breitesten Fläche parallel gehende in mehr oder minder dicken, hochroth durchsichtigen, Blättchen die Erscheinung der Ringe gewährt.

von einem solchen Puncte zum andern gerade Linien mit einem Messer oder einer Nadel, so daß dadurch an jedem Winkel die Basis der dreiseitigen gleichseitigen Pyramide bezeichnet wird, die weggeschliffen werden muß. Diese Pyramiden schneidet man hierauf mit einer feinen Laubsäge oder mit einer beschmirgelten Kupferplatte ab, und polirt die Schnittflächen mit Colcothar auf einer Holzscheibe oder auf Glas.

Der Salpeter krystallisirt gewöhnlich in langen sechsseitigen Prismen, deren Durchschnitt senkrecht auf die Seiten ein reguläres Sechseck ist. Seine optischen Axen liegen in einer Ebene, die der Axe des Prisma parallel und senkrecht auf einer der Seitenflächen desselben ist. Die regelmässige Structur desselben ist häufig sehr unterbrochen *), indeß findet man bei Untersuchung des gewöhnlichen verkäuflichen Salpeters leicht Stücke, die in ziemlicher Ausdehnung durchsichtig sind, und solche hat man auszuwählen. Um eine zur Beobachtung der isochromatischen Curven geeignete, auf die Zwischenlinie der optischen Axen senkrechte, Platte zu erhalten, schneide man aus dem Salpeterprisma, senkrecht gegen die Axe desselben, mit einem Messer eine, ungefähr $\frac{1}{4}$ Zoll dicke, möglichst parallelflächige Platte, und schleife dieselbe auf einer breiten nassen Feile so lange ab, bis die Dicke ungefähr $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ Zoll beträgt; man glätte die Oberflächen auf einem nassen Stücke mattgeschliffenen Glases und polire sie dann auf einem Stücke Seide, welches straff über eine Glasplatte gezogen und mit einer Mischung von Talg und Colcothar gerieben ist. Diese Operation erfodert viel Übung. Sie läßt sich nicht ausführen, wenn der Salpeter nicht naß ist und gerieben wird, bis er trocknet, indem man die Stärke der Reibung immer vermehrt, während die Feuchtigkeit verdunstet. Man muß dabei Handschuhe anziehen, da die Ausdünstung der Finger, so wie der leichteste Hauch, die Politur augenblicklich blind macht. Unter diesen Vorsichtsmaßregeln erhält man leicht eine glasartige Politur.

Eine nähere Beschreibung der hiedurch zu erhaltenden Ringe findet man in Herschel's Werke über das Licht S. 488.

Apparate zur Beobachtung der Farbenringe. Zur einfachen Beobachtung der Farbenringe empfiehlt Marx folgenden, in Fig. 75. von vorn, in Fig. 76. von der Seite vorgestellten Apparat. ab ist eine Zange von Messingblech, von der Breite eines Zolles, c und e sind zwei vorn geschwärzte Scheiben desselben Metalles mit Öffnungen, in welche die Turmalinplatten d und f eingefügt sind (so daß sie als eine Art Fenster dienen), die parallel mit der Axe des Krystalles geschnitten worden und so gestellt sind, daß ihre Axen sich rechtwinklich kreuzen **). Zwischen diesen

*) Öfters findet man Krystalle dieses Salzes, deren Querschnitt aus unterschiedenen Theilen besteht, in denen die Hauptschnitte Winkel von 60° mit einander machen und dadurch eine zusammengesetzte fehlerhafte Structur des Krystalles anzeigen. Diese Stücke sind von einander durch dünne Lagen getrennt, die die sonderbarsten Erscheinungen durch innere Zurückwerfung zeigen.

**) Vgl. über die Wirkung der Turmalinplatten Biot V. 202.

Turmalinplatten wir das Krystallblättchen eingeklemmt. Durch die halbkreisförmigen Zwingen g werden die Scheiben in ihren vertieften Rändern festgehalten, doch so, daß sie ziemlich leicht in ihrer Ebene umgedreht und nach Entfernung der Zwingen wieder herausgenommen werden können.

Um in jedem kleinen oder großen beliebigen Spaltungsstücke von isländischem Spath ohne alle Vorbereitung die Farbenringe hervorzubringen, giebt Marx *) folgendes Verfahren an: In Fig. 77. bedeuten aa und bb zwei gehörig gestellte Polarisationsspiegel, cc eine unten mit einer ebenen Glasscheibe verschlossene und mit Wasser gefüllte Röhre, d den an einem Stäbchen mit Wachs befestigten Krystall, durch den man nach der Richtung der Axe fg das Licht einfallen läßt. Während man in den Spiegel a sieht, ändert man, vermittelst des in der Hand gehaltenen Stäbchens, die Stellung des Krystalles so lange ab, bis er der Axe entlang sich aufhellt, dann wird man zugleich die Farbenerscheinung erblicken. Die Flüssigkeit ebenet gewissermaßen die Pole des Rhomboeders, so daß die mit der Axe parallel einfallenden Stralen beinahe ohne Brechung zum Auge gelangen.

Kobell **) hat gefunden, daß Glimmer, sowohl einaxiger als zweiaxiger, ferner Chlorit, Talk, Lithionglimmer, in Tafeln nach den vollkommenen Blätterdurchgängen gespalten, Topas nach seinen Durchgängen parallel oP ***), Orthoklas nach den Durchgängen parallel der Endfläche, schwefelsaurer Baryt nach $\infty \breve{P} \infty$, Anhydrit nach oP, Bittersalz nach $\infty \breve{P} \infty$, Bitterspath und Kalkspath durch die Rhomboederflächen, Arragonit durch oP, ja selbst Platten von gewöhnlichem Glase, am besten Platten aus Spiegelglas von drei bis vier Linien Dicke, statt Turmalin zur Beobachtung der Farbenringe gebraucht werden können †), nur müssen sie der Platte, welche die Farbenringe erzeugt, nicht parallel gehalten werden, sondern die Farbenringe erscheinen um so deutlicher, je schiefer der Einfall des Lichtes auf ihnen ist. Wahrscheinlich hängt dies mit dem Umstande zusammen, daß durchsichtige Platten überhaupt eine um so größere Menge Licht senkrecht auf die Brechungsebene polarisiren, je schiefer der Einfall auf ihnen geschieht, so daß mithin die Platten durchsichtiger Körper die Stelle eines zweiten Polarisationsspiegels vertreten ††).

Es mögen hier einige, von Kobell in diesem Bezuge mitgetheilte, Anordnungsarten von Versuchen beschrieben werden.

*) Schweigg. XLIX. 171.

**) Pogg. XX. 242, 412. Vergl. hiebei Marx in Schweigg. LXII. 236.

***) Vergl. Marx Charakteristik der Mineralien.

†) Mineralien von einfacher Stralenbrechung dagegen, wie Flußspath, Steinsalz ꝛc. zeigten sich untauglich dazu.

††) Nur erhellt hieraus nicht, warum nicht einfach brechende Mineralien dann eben so gut als doppelt brechende und als Glas zur Beobachtung tauglich sein sollten.

Es sei mn (Figur 78.) ein horizontaler schwarzer Spiegel, ks eine senkrecht auf die Axe zugeschnittene Plattte isländischen Spathes, welche eine Neigung von 50° gegen den Spiegel hat, cd ein Glimmerblatt, dessen Ebene in der Lage cd parallel mit ks ist, aber, indem es an dem Krystallträger eines Wollaston'schen Goniometers befestigt ist, auch unter beliebige Winkel dagegen gestellt werden kann, so daß seine Ebene z. B. die Lagen ce oder bf erhalten kann; der Gesichtsstral pq sei senkrecht auf ks.

Indem man nun das Glimmerblatt cd um c dreht, findet man:

Das Bild mit dem schwarzen Kreuze erscheint deutlich, wenn man das Glimmerblatt von der Lage cd an, wo es mit der Platte isländischen Spathes ks parallel ist, und wo sich kein Bild zeigt, um 45° nach der einen oder andern Richtung gedreht hat, wenn mithin der Winkel a oder b in der Lage des Krystallblattes cf oder ce 45° beträgt, und es wird immer schöner, wenn man das Blatt von da an zu drehen fortfährt, je kleiner mithin der Winkel a oder b wird, so daß es scheint, als würde das Bild am vollkommensten zu sehen sein, könnte man durch das Glimmerblatt sehen, während seine Ebene senkrecht auf die Platte des isländischen Spathes, d. i. parallel mit seiner Axe wäre.

Wenn man das Glimmerblatt aus einer Lage, wo sich das Bild zeigt, nach der mit der Kalkspathplatte parallelen Lage zurückdreht, und dadurch das deutliche Bild zum Verschwinden bringt, so sieht man, daß von den Puncten, wo dies Verschwinden erfolgt, die Arme des Kreuzes in zwei sich trennende Hyperbeln zerfallen, jenseits dieser Puncte sich aber wieder zu einem ähnlichen Kreuze zu vereinigen scheinen, welches letztere aber sehr blaß und ohne farbige Ringe ist, und um so blasser wird, als die Glimmertafel sich der mit der Kalkspathplatte parallelen Stellung nähert, so daß es in dieser Stellung ganz unsichtbar wird.

Es geht hieraus hervor, daß beim Umdrehen der Glimmertafel durch 4 rechte Winkel zwei derselben das Bild deutlich, die dazwischen liegenden aber nur sehr blaß oder gar nicht zeigen.

Um die Bilder deutlicher, und ohne durch fremdes Licht gestört zu werden, sehen zu können, kann man sich auch zweckmäßigerweise folgender Vorrichtung bedienen: Man befestige in einem ungefähr 3 Zoll langen, 2 Zoll im Durchmesser haltenden, Rohre (Fig. 79.), dessen innere Seite geschwärzt ist, eine Tafel von einaxigem oder zweiaxigen Glimmer, oder von hinlänglich dickem Spiegelglas in diagonaler Stellung, und bringe in a eine Öffnung an, wodurch man sieht. Dieses Rohr hält man bei Versuchen unter dem nöthigen Winkel gegen einen schwarzen Spiegel und bewegt dazwischen eine Kalkspathplatte, ein Glimmerblatt ꝛc., bis das eine Bild erscheint. Dreht man dann das Rohr um 90° herum, so erhält man das zweite Bild.

Eigenthümlichkeiten einiger Krystalle in Bezug auf die Erscheinung der Farbenringe.

Marx (Pogg. VIII. 249) hat die Bemerkung gemacht, daß die meisten Arragonitkrystalle, welche, nach dem Äußern zu schließen, einfach sind, im polarisirten Lichte als Zwillinge erscheinen, und daher mit den bekannten Beobachtungsmitteln vier Systeme farbiger Ringe darbieten, was auch Kobell *) an einem, senkrecht auf die Hauptaxe geschnittenen, reinen böhmischen Krystall bestätigt fand. Derselbe bemerkte aber auch, daß ein solcher Krystall beim Durchsehen in gewissen Richtungen für sich allein schon (ohne Turmalintafel) Systeme farbiger Ringe zeigt, und als er durch denselben unter dem nöthigen Winkel auf einen schwarzen Spiegel sahe, bemerkte er sechs solche Systeme, wovon vier mit einem schwarzen, zwei aber mit ungefärbtem oder weißen Striche durchschnitten waren**).

Naumann hat die mehrfache Zusammensetzung dieser Krystalle aus Hemitropien nach einem Schnitte parallel einer Fläche von ∞ P erklärt, und die Zusammensetzungsflächen, deren mehrere sehr nahe an einander liegen, ließen sich an dem beobachteten Krystall durch die angeschliffenen Flächen auch sehr leicht erkennen. Es wird daher wahrscheinlich, daß ein Theil des Krystalles für den andern selbst als Turmalinplatte wirkt. Nur ist dann schwer erklärbar, wie zugleich Bilder von auf einander rechtwinklicher Polarisation (mit schwarzem und weißem Strich) erblickt werden konnten.

Ein ähnliches Verhalten beobachtete Kobell auch am zweiaxigen Glimmer, indem, wenn man in einer gewissen Richtung durch seine Flächen (mit nahe gebrachtem Auge) gegen einen schwarzen Spiegel sieht, die beiden Arten der Bilder, doch nicht zu gleicher Zeit und gewöhnlich nur blaß, zum Vorschein kommen. In einer spätern Notiz fügt er endlich auch noch den schwefelsauren Baryt, geschnitten nach oP ***), und den Topas (durch seine vollkommenen Durchgänge betrachtet), und zwar in ganz einfachen Krystallen angewandt, zu den Mineralien, die diese Erscheinung darbieten. Der Verfasser glaubt, dieselbe liesse sich hier vielleicht durch Wirkung einer versteckten blätterigen Structur nach pyramidalen oder sonst in der Krystallreihe möglichen Flächen erklären.

*) Pogg. XX. 342, 416.

**) Brewster (Philos. transact. f. 1819. p. 20) hat schon früher analoge Beobachtungen gemacht: „Einige blätterige Krystalle... as Mica, Epidote or such as have an imperfect transparency from a defective aggregation of their elementary crystals, frequently exhibit their absorbtive qualities and also *their system of coloured rings by exposure to common light.* The light is in these cases analyzed in passing obliquely through the laminae, in the same manner, as if it has been transmitted through a bundle of glas plates.“ (Schweigg. J. LXII. 236.)

***) Vgl. Marx Charakteristik der Mineralien I. Abth. S. 84.

Der Bergkrystall zerfällt bekanntlich in zwei Varietäten, die in Bezug auf polarisirtes Licht ein verschiedenes Verhalten zeigen. Marx *) nun hat nachgewiesen, daß der Amethyst aus einer regelmäßigen Zusammensetzung dieser beiden Varietäten besteht, und hat die Erscheinungen, die er demgemäß in polarisirtem Lichte zeigt, genau beschrieben und durch Figuren erläutert. Wegen des zu speciellen Interesses, was diese Beobachtungen darbieten, verweisen wir hinsichtlich ihres Nähern auf die Originalabhandlung.

## Farbenmesser von van Beek **).

Der Farbenmesser, den der Verfasser nach dem von Biot (Lehrb. V. 228) gemachten Vorschlage hat ausführen lassen, ist in Fig. 80. und 81. in verschiedenen Lagen abgebildet.

abcdef ist ein vierkantiger kupferner Kasten, an welchem oben und unten kupferne Röhren g und h befestigt sind. Dieser kupferne Kasten ist vermittelst eines Charnieres mit der kupfernen Säule ik verbunden, welche in einem festen Fuße befestigt ist; vermittelst der Schraube l kann das Instrument in jeder beliebigen Lage befestigt werden. In dem Kasten abcdef, welcher in Fig 80. besonders abgebildet ist, befindet sich ein kupferner Ring m, welcher sich frei in ihm um die Zapfen n und o drehen läßt und mit einem Zeiger verbunden ist, welcher die Lage des Ringes auf der auswärts angebrachten Theilung angiebt.

In der untern Röhre h, welche an der vordern Seite eine Öffnung hat, befindet sich ein Glasspiegel, dessen hintere Fläche mit Tusche geschwärzt ist, und der eine solche Lage hat, daß er mit der Axe der Röhre einen Winkel von 54° 35′ bildet. In der obern Röhre befindet sich ein eben solcher Spiegel, welcher mit der Röhre denselben Winkel macht, aber so aufgestellt ist, daß seine Reflexionsebene senkrecht auf der des ersten Spiegels steht, wie dieses die punctirte Linie in Fig. 80. und 81. angiebt. Diese Röhre g ist oben geschlossen, jedoch an der Seite, dem Spiegel gegenüber, ist eine kleine runde Öffnung angebracht, worin sich eine kleine Linse n′ von kurzer Brennweite befindet. In dem Kasten abcdef befindet sich außer dem bereits erwähnten Ringe noch ein kleiner Rahmen pq, welcher durch eine kleine in seiner Mitte befindliche Öffnung Licht hindurchläßt.

Auf diese Art hat man ein vollständiges Polarisationsinstrument, in welchem der Lichtstral nicht von dem obern Spiegel reflectirt wird. Hält man aber das Auge nach n und legt in den Ring oder den Rahmen pq ein Glimmerblättchen, dessen Axe mit der Polarisationsebene einen Winkel von 45° bildet: so werden von dem zweiten Spiegel Farben reflectirt, be-

*) Schweigg. LXI. 1. Vgl. hiebei Pogg. XXI. 268.

**) Aus den Nieuwe Verhandelingen der eerste Klasse van het Koninklyk-Nederlandsche Instituut van Wetenschappen, Letterkunde en schoone Kunsten te Amsterdam. Bd. II. S. 217 in Schweigg. LXII. 246.

ren Beschaffenheit von der Dicke des Glimmerblättchens und der Lage der beiden Axen der doppelten Brechung abhängt, und welche nun mit den Farben der Naturkörper verglichen werden können.

Man wähle nun unter verschiedenen Glimmerblättchen eins aus, welches allenthalben dieselbe Dicke hat, was man am Besten daran erkennt, daß ein unter beliebigem Winkel hindurch gegangener polarisirter Lichtstral das Blättchen mit einer einzigen Farbe erscheinen läßt. Das Blättchen muß dabei so dünn sein, daß bei senkrecht einfallendem Lichte eine von den weißblauen Farben von Newton's Scale der Farben dünner Blättchen erscheint. Hat man ein solches Stück gefunden, dann bezeichne man so genau als möglich die Lage der Axe der doppelten Stralenbrechung in dem Blättchen und messe alsdann seine Dicke vermittelst des Sphärometers, so ist man im Stande vermittelst des bekannten Coefficienten für Glimmer den numerischen Werth der Farbe in Newton's Tafel (Biot V. 40) zu bestimmen, welche bei senkrecht auffallendem Lichte erscheint. Weil indeß die Oberfläche des Glimmers selten ganz frei von kleinen Unebenheiten ist, so muß bei Anstellung dieser Messungen nothwendig eine kleine Unsicherheit übrig bleiben, daher es der Verfasser für zweckmäßiger hält, die Farbe, welche bei senkrecht einfallenden Stralen erscheint, durch genaue Beobachtungen zu bestimmen.

Bei dem Gebrauche legt man nun ein Stück von dem Glimmerblättchen so in den Ring, daß seine Axe der doppelten Stralenbrechung genau mit der Richtung der Axe des Ringes zusammenfällt*); den übrigen Glimmer theile man in kleine viereckige Stücke von hinreichender Größe, klebe sie auf schwarze Kartenblätter, welche genau in den Rahmen pq passen und in der Mitte ein rundes Loch o haben, welches die Größe von dem im Boden des Rahmens hat. Man sorge hiebei stets dafür, daß die Axen der doppelten Stralenbrechung unter einander parallel und zugleich parallel mit der Axe des Blättchens liegen, welches sich in dem Ringe befindet.

Ist der Apparat auf diese Weise zusammengestellt, so kann man für jede Neigung des im Ringe befindlichen Glimmers aus der bekannten Anzahl der im Rahmen befindlichen Blättchen und mit Zuziehung des ebenfalls als bekannt vorausgesetzten Brechungsverhältnisses des Glimmers den Werth der Farbe in Newton's Tafel nach folgender Formel bestimmen:

$$E = \frac{(E)}{\sin^2 \vartheta_1} \cdot \frac{\cos^2 \vartheta' \sin^2 \vartheta_1 + \sin^2 \vartheta'}{\cos \vartheta'}$$

*) Es ist nicht nöthig, daß das Glimmerblättchen den ganzen Ring ausfülle, weil hiezu sehr viel Glimmer erfodert werden würde, und es sehr schwer hält, ein großes Stück zu finden, welches allenthalben dieselbe Dicke hat. Man lege in den Ring nur eine schwarze Platte mit einer länglichen viereckigen Öffnung, in welcher das Glimmerblättchen befestigt ist (Figur 82.), und sorge nur dafür, daß die Breite dieser Öffnung ungefähr den Durchmesser des Loches in dem Rahmen hat, und daß diese Öffnung senkrecht auf der Axe steht, um die sich der Ring bewegt.

Hier ist E die für die gegebene Neigung beobachtete Farbe; (E) der numerische Werth der Farbe in Newton's Tafel, welche bei senkrecht einfallenden Stralen erscheint; $\vartheta'$ der aus dem Brechungsverhältniß des Glimmers für die gegebene Neigung des Ringes berechnete Brechungswinkel; $\vartheta_1$ der Brechungswinkel des Glimmers, bei welchem die Farbe ihr Minimum erreicht, und für welchen Biot durch genaue Versuche 22° 35′ 36″ findet *).

Zum bequemern Gebrauche hat der Verfasser noch eine Tabelle beigefügt, welche für die Einfallswinkel von 1° bis 70° die zugehörigen Brechungswinkel $\vartheta'$ unter der Voraussetzung angiebt, daß das Brechungsverhältniß des Glimmers dem des Crownglases ($= \frac{3}{2}$) gleich sei.

---

## XIII. Von der kreisförmigen und elliptischen Polarisation.

### Kreisförmige oder circuläre Polarisation **).

Geschichtliches. Unter den Erscheinungen, welche von der circulären Polarisation abhängen, sind die zuerst beobachteten die, welche Biot mit dem Namen Polarisation durch Drehung (Biot's Lehrb. V. 209) beschrieben hat, d. h. die Farbenerscheinungen, welche ein polarisirter Stral, der durch eine senkrecht auf die Axe zugeschnittene Platte aus Bergkrystall längs der Axe hindurchgegangen ist, bei nachheriger Zerlegung durch ein doppelt brechendes Prisma darbietet, Erscheinungen, auf die zuerst Arago aufmerksam machte und die nachher von Biot weiter verfolgt wurden. Diese Erscheinungen ließen indeß die Verhältnisse der circulären Polarisation

*) Der Beweis dieser Formel ist in Biot's Traité (dem größern Werke) T. IV. p. 559 gegeben.

**) Ein genaues theoretisches Verständniß der circulären Polarisation läßt sich unmöglich anders erhalten, als mit Hülfe mathematischer, an die Undulationstheorie geknüpfter, Erörterungen, welche von dem Plane dieses Werkes ausgeschlossen sind. Ich begnüge mich hier mit Darstellung der hauptsächlichsten Erscheinungen, welche die circuläre Polarisation auf erfahrungsmäßige Weise characterisiren, und wenigstens Anführung der Sätze, auf die ihre Erklärung zurückzuführen ist. Näher über den Zusammenhang der circulären Polarisation mit der Undulationstheorie kann man sich, außer aus Herschel's öfters angeführtem Werke über das Licht S. 578, insbesondere aus Fresnel's Abhandlungen in Pogg. XXI. 276; XXII. 68, 90; XXIII. 372 und der Abhandlung von Airy in Pogg. XXIII. 204 (die mir nur eben erst zu Händen gekommen ist) belehren; auch in Baumgartner's Suppl. S. 532 findet sich etwas in der Kürze darüber angegeben. — Die Formeln, nach denen sich der Übergang der geradlinigen Polarisation in circuläre oder elliptische durch totale innere Reflexion berechnen läßt, werde ich übrigens noch in einem besondern Artikel mittheilen, der zugleich mehrere daraus zu ziehende Folgerungen für das Zustandekommen der circulären Polarisation, die ich hier übergangen habe, enthält.

nicht in ihrer einfachsten Gestalt zur Wahrnehmung kommen, da sie der Erfolg des Aufeinanderwirkens zweier circulär polarisirter Stralen sind. Fresnel war es vorbehalten, diese Erscheinungen zu analysiren und zu zeigen, auf welche einfache Modificationen sie sich zurückbringen lassen, indem er zuvörderst die reinen Merkmale der circulären Polarisation an einem durch totale innere Reflexion in Glas (unter gehörigen Verhältnissen) modificirten polarisirten Stral nachwies, dann zeigte, daß sich ein polarisirter Stral, der längs der Axe von Bergkrystall hingeht, in zwei Stralen von derselben Beschaffenheit, als man durch solche innere Reflexionen erlangen kann, aber von ungleicher Geschwindigkeit, spaltet; endlich die Entstehungsart und Beschaffenheit der circulären Polarisation mit der Undulationstheorie in Beziehung setzte, durch sie erläuterte und Formeln zur Berechnung ihrer Entstehung ableitete, die sich mit der Erfahrung bis jetzt vollkommen in Übereinstimmung gezeigt haben. Fresnel muß daher als der eigentliche Schöpfer der Lehre von der circulären Polarisation betrachtet werden.

## Charactere der circulären Polarisation.

Die circuläre Polarisation ist eine Modification des Lichtes, welche sich durch folgende Hauptmerkmale characterisirt, denen sich jedoch noch andere, von gleichem Grunde abhängige, Eigenthümlichkeiten anschließen.

1) Ein circulär polarisirter Stral giebt, wenn er durch ein doppelt brechendes Prisma untersucht wird, bei jeder Lage desselben zwei Bilder von gleicher Intensität, und behält, auf einer Turmalinplatte aufgefangen, bei Umdrehung derselben dieselbe Intensität; hierin unterscheidet er sich von dem geradlinig oder gewöhnlich polarisirten Lichte *) und stimmt mit dem gemeinen Lichte überein.

2) Wenn ein circulär polarisirter Stral in einem Glasparallelepipedum (Fig. 83.) bei senkrechtem Ein- und Austritt zwei totale innere Zurückwerfungen in G und F unter dem Winkel 54° 37′½ erfährt **), so zeigt er, nach dem Wiederaustritte, sich geradlinig in einer Ebene polarisirt, welche um 45° gegen die Ebene geneigt ist, in welcher die Zurückwerfungen geschahen, welche Lage auch diese Ebene gehabt haben mag ***).

*) Man setzt nämlich die bekannte gewöhnliche Polarisation der circulären und elliptischen unter dem Namen der geradlinigen entgegen.

**) Dieser Winkel gilt für Glas, dessen Brechungsverhältniß = 1,51. Um der Bedingung der zweimaligen innern Zurückwerfung unter diesem Winkel bei senkrechter Ein- und Austrittsfläche zu genügen, müssen die Winkel ABC, ADC (Fig. 83.) ebenfalls 54° 37′½ betragen.

***) Hiebei mag gleich bemerkt werden, daß, wenn die circuläre Polarisation auf die nachher anzugebende Art durch zwei totale innere Reflexionen eines um 45° gegen die Einfallsebene polarisirten Strales erst erzeugt war, und er durch zwei neue totale Reflexionen in derselben Ebene wieder in die geradlinige Polarisation zurückgeführt wird, die Richtung der wieder hergestellten Polarisation senkrecht auf der Richtung der ursprünglichen Polarisation steht; indem die Rei-

Hiedurch unterscheidet er sich von einem Strale gemeinen Lichtes, das durch keine Zahl solcher totaler Reflexionen in seinen Eigenschaften geändert wird.

Bei manchen circulär-polarisirten Stralen wird nun die Polarisationsebene rechts, bei anderen links von der Zurückwerfungsebene gekehrt und hienach unterscheidet man die rechts gekehrte und die links gekehrte circuläre Polarisation.

3) Läßt man einen circulär-polarisirten Stral durch ein Blättchen Fraueneis hindurchgehen, und analysirt ihn dann mit einem doppelt brechenden Prisma*), so giebt er zwei farbige Bilder von Complementärfarben, wodurch er sich entschieden von dem gewöhnlichen Lichte unterscheidet, während auf der andern Seite diese Farben nicht mit denen übereinstimmen, die von einem gewöhnlich polarisirten Strale hervorgebracht werden. Sie sind nämlich um $\frac{1}{4}$ der Farbe davon verschieden**).

4) Die Farbenringe, welche eine senkrecht auf die Axe zugeschnittene Kalkspathplatte in gewöhnlich polarisirtem Lichte (bei Betrachtung durch eine Turmalinplatte) darbietet, zeigen sich unterbrochen und in gewissem Grade verschoben, wenn man statt des gewöhnlich polarisirten Lichtes circulär polarisirtes Licht anwendet; das Kreuz, welches die 4 Quadranten trennt, ist von gleichförmiger Intensität, welche ungefähr der mittlern Intensität des Lichtes gleich ist, und die Lage und das Ansehen dieses Kreuzes bleiben ungeändert, wenn man die Turmalinplatte, durch welche man die Ringe betrachtet, in ihrer Ebene herumdreht***).

gung der wiederhergestellten Polarisation um 45° nach der andern Seite der Reflexionsebene abweicht.

*) d. h. stellt man den Versuch so an, wie er zu Darstellung der Farbenerscheinungen durch die sogenannte mobile Polarisation Biot's (Biot's Lehrb. V. 138) mit gewöhnlich polarisirten Lichte angestellt wird.

**) Dies ist auf folgende Weise zu verstehen. Man vergleiche die Complementärfarben mit den Farben der, durch eine dünne Luftschicht zwischen Objectivgläsern zurückgeworfenen und durchgelassenen Newton'schen Ringe. Stimmt nun z. B. die eine Complementärfarbe mit der Farbe eines durch die Dicke t zurückgeworfenen oder durchgelassenen Ringes überein, wenn der Stral die gewöhnliche oder geradlinige Polarisation erfahren hatte, so wird sie nun, wenn der Stral circulär polarisirt ist, vielmehr mit der Farbe eines durch die Dicke $(1 + \frac{1}{4})$ t oder $(1 - \frac{1}{4})$ t zurückgeworfenen oder durchgelassenen Ringes übereinstimmen. Was in Pogg. Ann. XXI. 277 oder in den Ann. de Ch. et de Ph. XXVIII. 149 vom Farbenkreise (cercle chromatique) Newton's gesagt ist, verstehe ich nicht, da dieser Kreis gar nichts mit dieser Klasse von Erscheinungen zu thun hat.

***) Man sieht in Pogg. Ann. XXIII. Taf. II. Figur 1., 2., 3. die Ringe, wie sie sich im gewöhnlich polarisirten Lichte bei verschiedenen Lagen der Turmalinplatte darstellen, und Figur 4. die Ringe, wie sie bei jeder Lage der Turmalinplatte im circulär polarisirten Lichte erscheinen. Doch scheint das Kreuz in der Mitte etwas zu dunkel gehalten. Ebendaselbst S. 211 und 226 hat Airy die nähere Beschreibung und Erklärung dieser Ringe nach den Interferenzgesetzen gegeben.

5) Ein circulär polarisirter Stral zeigt keine Farbenerscheinungen, wenn er durch Quarz (in der Richtung von dessen Axe), Terpentinöl, Limonienöl rc. geht, und dann mittelst eines doppelt brechenden Prisma's zerlegt wird. Hierin stimmt er mit dem gewöhnlichen Lichte überein, und unterscheidet sich vom gewöhnlich polarisirten.

## Verfahrungsarten, die circuläre Polarisation hervorzubringen.

Gleichwie die gewöhnliche oder geradlinige Polarisation sowohl durch Zurückwerfung als durch Brechung unter gehörigen Umständen und in geeigneten Mitteln hervorgerufen werden kann, ist dies auch bei der circulären Polarisation der Fall.

a) Durch Zurückwerfung. Diese Methode besteht in einer Umkehrung des unter 2) angegegebenen Verfahrens. Man lasse (Fig. 83.) in die Seite CD eines Glasparallelepipedums, das so geschnitten ist, daß der Stral bei senkrechtem Ein- und Austritt (in H und E) zwei totale innere Zurückwerfungen (in G und F) unter dem Winkel von $54^\circ\frac{1}{2}$ erfährt *), einen gewöhnlich polarisirten Stral senkrecht einfallen, während das Parallelepipedum so gestellt ist, daß die Ebene der inneren Zurückwerfungen 45° gegen die der ursprünglichen Polarisation geneigt ist. Der in E rechtwinklich auf AB heraustretende Stral wird die circuläre Polarisation angenommen haben.

Wenn der innere Einfallswinkel ein anderer als $54^\circ\frac{1}{2}$ ist, so vermag der Stral durch bloß zwei Reflexionen die circuläre Polarisation nicht mehr vollständig zu erlangen, wohl aber, wenn man ihn eine gewisse größere Anzahl Reflexionen unter demselben innern Einfallswinkel machen läßt. So kommt die circuläre Polarisation zu Stande durch drei Zurückwerfungen in Glas von 1,51 Brechungsverhältniß unter einem Einfallswinkel von $69^\circ\,12'\frac{1}{2}$, durch vier bei einem Einfallswinkel von 74° 41′ 50″ **).

Brewster (Pogg. XXI. 228) hat übrigens gefunden, daß auch eine einmalige Reflexion von polirtem reinen Silber unter der Incidenz von 73° einem gegen die Einfallsebene um 45° polarisirten Strale die circuläre Polarisation zwar nicht vollständig, aber doch ziemlich nahe, zu ertheilen vermag.

b) Durch Brechung. Während bei der vorigen Methode, einen Stral circulär zu polarisiren, bloß eine einzige Art circulärer Polarisation,

*) Für Glas von 1,51 Brechungsverhältniß ist der erfoderliche Winkel genau $54^\circ\,37'\frac{1}{3}$.

**) Die hier angeführten Werthe sind von Fresnel für Glas von 1,51 Brechungsverhältniß nach einer Formel berechnet worden, die ich in dem Artikel, der von dem Übergange der geradlinigen in die kreisförmige und elliptische Polarisation besonders handelt, mittheilen werde. Versuche, welche Fresnel zu ihrer Prüfung anstellte (Pogg. XXII. 119), ergaben merklich damit übereinstimmende Resultate.

die rechts oder links gekehrte, entsteht, bringt der Durchgang durch gewisse durchsichtige Mittel beide zugleich hervor, indem sich der Stral hiebei vermöge einer eigenthümlichen Art doppelter Brechung in einen rechts und einen links circulär polarisirten Stral theilt, so daß also hier etwas Analoges Statt findet, als bei der durch Doppelbrechung erzeugten gewöhnlichen oder geradlinigen Polarisation, wo der Stral in zwei senkrecht auf einander polarisirte Bündel getheilt wird.

Um die circuläre Polarisation durch Brechung hervorzurufen, lasse man einen in irgend einer Ebene polarisirten Stral durch eine Platte Bergkrystall, deren Eintrittsfläche senkrecht auf die Axe der doppelten Brechung geschnitten ist, parallel mit der Axe, also unter senkrechter Incidenz, hindurchgehen. Der Stral wird, wenn die Austrittsfläche ebenfalls senkrecht auf die Axe ist, ungetheilt bleiben, aber aus einem rechts und einem links circulär polarisirten Stral bestehen, die sich mit ungleicher Geschwindigkeit nach derselben Richtung bewegen; ist die Austrittsfläche schief gegen die Axe gerichtet, so wird der Stral wirklich in zwei, einen Winkel mit einander bildende, Stralen getrennt herausfahren, deren einer rechts, der andere links circulär polarisirt ist. Doch läßt sich diese Trennung bloß durch feine Hülfsmittel sichtbar machen*).

In dem Falle nun, wo man die Trennung der entgegengesetzt circulär polarisirten Bündel bewirkt hat, wird jedes dieser Bündel für sich die oben angegebenen Merkmale eines circulär polarisirten Strales darbieten, der eine die der **rechts**, der andere die der **links** gekehrten**). Treten aber beide Bündel in derselben Richtung heraus, so daß sie sonach in demselben Strale zusammen fallen, so fragt sich nun, welche Eigenschaften wird der so zusammengesetzte Stral zeigen. In dieser Hinsicht gilt folgendes Gesetz:

**Wenn ein in irgend einer Ebene polarisirter Stral durch eine Platte Bergkrystall, deren beide Flächen senkrecht auf die Axe zugeschitten sind, parallel mit der Axe hindurchgeht, so wird der senkrecht und ungetheilt aus-**

*) **Fresnel's** Verfahren zu diesem Zweck findet sich beschrieben in Pogg. XXI. 276 oder Herschel's Werk über das Licht S. 586. — In Bezug auf das Nachfolgende mag gleich hier bemerkt werden, daß in dem Strale, welcher sich wie ein durch zwei totale innere Reflexionen modificirter Stral verhält, dessen Reflexionsebene links von der Ebene der ursprünglichen Polarisation lag, dasjenige partielle Bündel, welches dem andern um $\frac{1}{4}$ Undulation voraus ist, seine Polarisationsebene links liegen hat von der des zurückstehenden Bündels, in dem andern Strale dagegen liegt die erstere Polarisationsebene rechts von der zweiten.

**) Bemerkung verdient dabei, daß verschiedene Varietäten Bergkrystall sich in so fern verschieden verhalten, als bei dem einen der rechts, bei dem andern der links circulär polarisirte Stral der schnellere ist (der Unterschied der Geschwindigkeiten jedoch ist in beiden Varietäten gleich). Dieser Gegensatz wird durch verschiedene damit zusammenhängende Folgeerscheinungen bemerklich, namentlich die Richtung, nach welcher die **Polarisation durch Drehung** erfolgt.

tretende Stral sich verhalten wie ein gewöhnlich oder geradlinig polarisirter Stral, dessen Polarisationsebene aber einen gewissen Winkel mit der Ebene der ursprünglichen Polarisation bildet, und dieser Ablenkungswinkel wird der Dicke der durchlaufenen Platte genau proportional sein.

Die beiden in entgegengesetzter Richtung circulär polarisirten Stralen wirken also, wenn sie zusammenfallen, so auf einander ein, daß dadurch ein Stral entsteht, der sich in keiner Eigenschaft von dem ursprünglichen gewöhnlich polarisirten Strale unterscheidet, außer in der Richtung der Polarisation, und der in seiner Vereinigung keine der characteristischen Eigenschaften zeigt, welche den bloß nach Einer Richtung circulär polarisirten Stral vom gewöhnlich polarisirten Lichte unterscheiden *).

## Sätze, auf welche die Erklärung der Entstehung und Erscheinungen der circulären Polarisation zurückzuführen ist.

Eine gehörige Erklärung der Entstehung und Erscheinungen der circulären Polarisation ist bis jetzt nur nach der Undulationstheorie gegeben worden. Nach derselben läßt sich ein circulär polarisirter Stral bestehend betrachten als aus Ätherth eilchen, welche kreisförmige Schwingungen mit gleichförmiger Geschwindigkeit in Ebenen senkrecht auf die Richtung des Strales vollbringen **). Diese Schwingungen geschehen in zwei Stralen von entgegengesetzter circulärer Polarisation nach entgegengesetzter Richtung.

Um die Erscheinungen der circulären Polarisation auf diese Vorstellung zurückzuführen, muß man sich verschiedene Sätze, welche in der Lehre

*) Ich hebe diesen Umstand besonders hervor, um eine, nach manchen zu kurzen Angaben sonst leicht mögliche, Verwirrung der Begriffe zu verhüten. Man spricht öfters schlechthin von einer circulär polarisirenden Wirkung des Bergkrystalles auf gewöhnlich polarisirte Stralen, die längs seiner Axe hingehen; aber bloß in dem Falle, wenn diese getrennt austreten, kann die Eigenschaft der circulären Polarisation an ihnen nachgewiesen werden, sonst verhält sich das zusammengesetzte austretende Bündel durchaus nur wie ein gewöhnlich polarisirter Stral, dessen Polarisationsebene sich aber während des Durchganges durch die Platte mit gleichförmiger Geschwindigkeit um seine Axe gedreht hat. Biot's sogenannte Polarisation durch Drehung (Biot V. 200), worunter die von dieser Drehung abhängigen Phänomene verstanden werden, ist sonach nicht mit der circulären Polarisation zu verwechseln. Die erste betrifft nämlich bloß die zusammengesetzten Erscheinungen, welche ein, aus zwei entgegengesetzt circulär polarisirten Bündeln bestehender Stral darbietet, welcher dem Erfolge nach von einer Drehung der Ebene der gewöhnlichen Polarisation abhängig gemacht werden können, während die circuläre Polarisation die jedem dieser Bündel, wenn es vom andern getrennt ist, für sich zukommenden Eigenschaften betrifft, welche von denen der gewöhnlichen Polarisation wesentlich verschieden sind.

**) Ein geradlinig oder gewöhnlich polarisirter Stral hingegen ist bekanntlich ein solcher, in welchem alle Theilchen geradlinig in parallelen Richtungen in Ebenen senkrecht auf den Stral schwingen.

von den Interferenzen der Schwingungen bewiesen werden, zurückrufen, namentlich folgende*):

1) Ein kreisförmig polarisirter Stral, insofern man die angegebene Vorstellung für seine Beschaffenheit zu Grunde legt, entsteht durch die Interferenz zweier Bündel von gleicher Intensität, die rechtwinklich auf einander polarisirt sind und in ihrem Gange um den vierten Theil einer Undulation (oder ungerade Multipla eines Viertel, wie $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ u. s. f.) verschieden sind, oder, was dasselbe sagt, deren Phasenunterschied 90° oder 270° ist. Die Lichttheilchen in dem circulär polarisirten Strale drehen sich von der Rechten zur Linken, wenn das vordere Bündel seine Polarisationsebene rechts liegen hat von der des um $\frac{1}{4}$ Undulation zurückstehenden Bündels; dagegen drehen sie sich von der Linken zur Rechten, sobald die erstere Ebene links von der zweiten liegt, oder, falls die beiden Polarisationsebenen den ersten Fall darbieten, sobald der Unterschied im Gange $\frac{3}{4}$ Undulationen beträgt.

2) Umgekehrt läßt sich daher jeder circulär polarisirte Stral als aus der Vereinigung zweier rechtwinklich auf einander geradlinig polarisirten Stralen von gleicher Intensität bestehend betrachten, die um $\frac{1}{4}$ (oder $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ u. s. f.) Undulation von einander abweichen.

3) Ein in irgend einer Ebene geradlinig polarisirter Stral läßt sich betrachten als bestehend aus der Vereinigung zweier anderen, in derselben Ebene polarisirten, Stralen, die in ihren Phasen um $\frac{1}{4}$ Undulation verschieden sind (so daß die Phase des einen $\frac{1}{8}$ Undulation mehr, die andere $\frac{1}{8}$ Undulation weniger beträgt, als die des ganzen Strales) und deren jeder die halbe Intensität des ganzen Strales hat.

4) Auf eine andere Weise läßt sich aber auch ein geradlinig polarisirter Stral als bestehend betrachten aus zwei rechtwinklich auf einander polarisirten Stralen von gleicher Intensität, deren Phasenunterschied entweder 0° oder 180° oder 360° beträgt, und von denen der eine in einer Ebene polarisirt ist, welche einen Winkel von 45° zur einen Seite, der andere in einer Ebene, welche einen Winkel von 45° zur andern Seite mit der ursprünglichen Polarisationsebene macht (so daß diese den rechten Winkel der Polarisationsebenen beider partiellen Stralen mitten durch theilt).

5) Noch allgemeiner läßt sich ein geradlinig polarisirter Stral bestehend betrachten aus zwei nach beliebigen, auf einander senkrechten, Richtungen polarisirten Bündeln von gleicher oder um 180° oder um 360° verschiedener Phase, deren Intensitäten sich zu einander verhalten wie $\cos^2 \varphi$ zu $\sin^2 \varphi$, wenn man die Zerlegung der Polarisation nach zwei solchen Richtungen vorgenommen hat, daß ihre Ebene respectiv den Winkel $\varphi$ und

*) Wer mit den hier in Betracht kommenden Vorstellungen nicht vertraut ist, wird sich aus der gegen Ende des Abschnittes über das Licht beigefügten Darstellung darüber belehren können. Vergl. namentlich die Artikel Schwingungen, Phase, Interferenz, Elasticität.

$90° - \varphi$ mit den Richtungen der Polarisation der partiellen Bündel macht. (Für $\varphi = 45°$ ist $\cos\varphi = \sin\varphi$.)

Zu diesen Interferenzgesetzen sind noch folgende zwei Sätze zu fügen, deren erster sich durch anderweite Erörterungen Fresnel's ergeben hat, aber auch aus der Entstehungsweise der circulären Polarisation durch innere totale Reflexion selbst abgeleitet werden kann. Der zweite ist eine durch die Erscheinungen selbst nöthig gemachte Hypothese.

6) Wenn ein Stral, der mit irgend einer Neigung gegen die Einfallsebene polarisirt ist *), eine innere Reflexion durch Zurückwerfung von der zweiten Oberfläche eines durchsichtigen Körpers erfährt, so findet im reflectirten Strale zwischen den beiden parallel und senkrecht auf die Zurückwerfungsebene polarisirten Bündeln, in die man ihn zerlegt denken kann, kein Phasenunterschied Statt, so lange die innere Incidenz kleiner ist als die, bei welcher totale Reflexion erfolgt; wird sie aber größer, so tritt zwischen beiden partiellen Bündeln ein Phasenunterschied ein, der von der Größe des Einfallswinkels und dem Brechungsverhältniß der Substanz abhängt und sich nach unten stehender Formel berechnen läßt **), und der sich bei jeder neuen innern Reflexion um die der Incidenz zugehörige Größe vermehrt.

7) In dem Bergkrystalle ist vermöge einer besondern Beschaffenheit der Theilchen die Elasticität des Äthers rings um die Axe eine andere in der Drehungsrechtung von Rechts nach Links, als von Links nach Rechts.

Die Entstehung der circulären Polarisation durch totale innere Reflexion in Glas unter den geeigneten Umständen erklärt sich mit Zuziehung dieser Sätze folgendermaßen:

Wenn ein um 45° gegen die Einfallsebene polarisirter Stral innen einfällt, so läßt er sich nach Satz 4) in zwei rechtwinklich auf einander polarisirte Bündel gleicher Intensität zerlegt denken, deren einer parallel, der andere senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, und die, so lange der innere Einfallswinkel kleiner als der der vollständigen Reflexion ist, gleiche Phasen behalten. Wenn aber der innere Einfallswinkel größer wird als die erste Gränze der totalen Reflexion, so tritt ein Phasenunterschied ein, und man hat es mithin nur so einzurichten, daß dieser Phasenunterschied $= 90°$ wird, damit nach Satz 1) die circuläre Polarisation zu Stande komme. Wenn man nun für Glas vom Brechungsverhältniß 1,51 nach der unten angegebenen Formel berechnet, wie groß der Phasenunter-

*) d. h. dessen Polarisationsebene beim Einfall irgend einen Winkel mit der Einfallsebene macht.

**) Es sei $\gamma$ der Phasenunterschied beider partieller Bündel, n das Brechungsvermögen der Substanz, i der innere Einfallswinkel, der jedoch jedenfalls die erste Gränze der totalen Reflexion überschreiten muß, so ist

$$\cos\gamma = \frac{2n^2 \sin^4 i - (n^2+1)\sin^2 i + 1}{(n^2+1)\sin^2 i - 1}$$

Wir werden in einem andern Artikel auf diese Formel zurückkommen.

schied ist, der durch eine einmalige innere Reflexion unter einer Incidenz von 54° 37′½ hervorgebracht wird, so findet man ihn gleich 45°. Eine zweite innere Reflexion unter diesem Winkel wird diesen Phasenunterschied verdoppeln, d. h. auf 90° bringen, und so wird die circuläre Polarisation erreicht sein. Bei anderen Einfallswinkeln wird der Phasenunterschied, der sich durch eine einmalige Reflexion hervorbringen läßt, im Allgemeinen kleiner sein als 45°, daher hier eine mehrmalige Reflexion als 2 erfoderlich ist, den Phasenunterschied auf 90° zu treiben *). Dies wird noch näher örtert werden in dem Artikel, der von der Verwandlung der geradlinigen in circuläre Polarisation eigends handelt. Übrigens wird man auch aus dem Vorstehenden leicht einsehen, warum der innen einfallende Stral um 45° gegen die Einfallsebene polarisirt sein muß, damit er in circulär polarisirten Zustand übergehen kann. Es gehört nämlich nach Satz 1) zu den Merkmalen eines circulär polarisirten Strales, daß er sich in zwei auf einander senkrecht polarisirte Bündel gleicher Intensität vom Phasenunterschied 90° zerlegen lasse. Nun sind die beiden partiellen Bündel, die durch die inneren Reflexionen auf den Phasenunterschied 90° gebracht werden, bloß in dem Falle von gleicher Intensität, wenn die anfängliche Polarisationsebene um 45° gegen die Einfallsebene geneigt ist, mithin wird auch nur bei dieser Neigung sich circuläre Polarisation erlangen lassen. Wählt man andere Neigungen der anfänglichen Polarisation gegen die Einfallsebene, so wird zwar ebenfalls noch derselbe Phasenunterschied zwischen dem parallel und dem senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten partiellen Bündel, worein sich der Stral zerlegen läßt, eintreten, als bei 45° Neigung; allein dieser Unterschied wird jetzt nach Satz 5) zwei Bündel von ungleicher Intensität betreffen. Der hieraus resultirende Stral kann daher nicht die circuläre Polarisation erlangen, hat aber eine andere Modification angenommen, die wir weiterhin unter dem Namen der elliptischen Polarisation betrachten werden.

Was die Entstehung der circulären Polarisation durch Brechung im Bergkrystall anlangt, so muß sie als von einem eigenthümlichen Zustande der Elasticität des Äthers im Quarzkrystall abhängig gedacht werden, über den es übrigens noch an genügenden Erörterungen fehlt.

Das erst angeführte Merkmal eines circulär polarisirten Strales (S. 280), daß er bei Betrachtung durch ein doppelt brechendes Prisma immer zwei Bilder von gleicher Intensität giebt, folgt aus Satz 2). Denn da er aus zwei rechtwinklich auf einander polarisirten gleichen Stralen bestehend gedacht werden kann, so muß er gerade so wie natürliches Licht durch die doppelte Brechung in zwei Stralen gleicher Intensität zerlegt werden, da der Unterschied der Phasen hiebei nicht in Betracht kommt.

*) Denn 45° ist bei Glas nahe das Maximum des Phasenunterschiedes, was sich durch einmalige Reflexion hervorbringen läßt (das absolute Maximum ist 45° 43′,5, und findet bei der Incidenz 51° 20′⅓ Statt, so daß bei Winkeln, die größer oder kleiner als dieser sind, der Phasenunterschied wieder abnimmt).

Das *zweite* Merkmal, daß dieselbe Anzahl innerer Reflexionen (unter gleichen Umständen), welche einem gewöhnlich polarisirten Strale die circuläre Polarisation ertheilt hat, ihn nachher wieder zum geradlinig polarisirten Zustande zurückzuführen vermag, erklärt sich aus Satz 6) in Verbindung mit Satz 4). Haben nämlich die beiden partiellen Bündel, aus denen man sich den Stral bestehend denkt, durch zwei solche Reflexionen einen Phasenunterschied von 90° erfahren, so werden die zwei nächsten Reflexionen unter gleichen Verhältnissen diesen Phasenunterschied auf 180° bringen. Dadurch aber hat nach Satz 4) der Stral wieder den Character des geradlinig polarisirten Lichtes erlangt.

Die Erklärung des S. 281 angeführten *dritten* Merkmales ist auf Folgendes zurückzuführen:

Fällt ein circulär polarisirter Stral auf ein krystallisirtes Blättchen, so kann derselbe als aus zweien bestehend angesehen werden, von denen der eine in der Ebene des Hauptschnittes, der andere in einer darauf senkrechten Ebene polarisirt ist, die gleiche Intensität besitzen und in ihren Phasen um $\frac{1}{4}$ Undulation verschieden sind. Jeder derselben geht unverändert hindurch und sie werden sich daher hinsichtlich ihrer Interferenzen bei dem Heraustritt und der erfolgenden Zerlegung eben so verhalten, wie die zwei Theile eines Strales, der ursprünglich in einem Azimuth von 45° gegen die Ebene des Hauptschnittes polarisirt war und durch die doppelte Brechung des Blättchens in zwei zerlegt wurde, vorausgesetzt, daß man zu der Phase des einen dieser Stralen den vierten Theil einer Undulation hinzufügt. Solche Stralen bringen nun, wie hier als aus anderweiten Theilen der Lichtlehre als bekannt vorausgesetzt werden muß *), Farben der Art hervor, wie sie circulär polarisirtes Licht wirklich zeigt.

Die Erklärung des *vierten* Merkmales hängt von denselben Erörterungen ab.

Das *fünfte* Merkmal, daß ein circulär polarisirter Stral, wenn er durch eine senkrecht auf die Axe geschnittene Platte Bergkrystall in der Richtung der Axe hindurchgeht, keine Farbenerscheinungen zeigt, wenn er nach seinem Austritte durch ein doppelt brechendes Prisma zerlegt wird, hängt davon ab, daß sich der Stral beim Durchgange durch die Platte nicht in zwei Stralen von verschiedener Geschwindigkeit trennen kann; weil nämlich seine Schwingungen schon in der kreisförmigen Richtung der Elasticität, die im Bergkrystalle Statt findet, geschehen, und er daher ohne weitere Zerlegung bloß die einfache Geschwindigkeit, die dieser Elasticität angehört, annimmt. Insofern nun die Farbenerscheinungen, welche Krystallblätter im geradlinig polarisirtem Lichte darbieten, aus der Interferenz der Stralen verschiedener Geschwindigkeit entstehen, in die sich der Stral im Krystall

*) Vgl. Herschel's Werk S. 522.

**) Die Richtung der Schwingungen in dem einfallenden circulär polarisirten Stral.

im Allgemeinen zerlegt, eine solche Zerlegung aber bei dem circulär polarisirten Strale hier nicht Statt findet, so kann er auch keine Farbenerscheinungen unter den angezeigten Umständen hervorbringen.

Um die Zerlegung eines geradlinig polarisirten Strales in zwei circulär polarisirte von ungleicher Geschwindigkeit beim Durchgang durch eine, senkrecht auf die Axe zugeschnittene, Platte Bergkrystall in der Richtung dieser Axe, so wie die davon abhängigen Erscheinungen der sogenannten Polarisation durch Drehung zu erklären, müssen wir zuerst nach Satz 4) den Stral als in zwei andere Stralen (A und B) von gleicher Intensität zerlegt betrachten, von denen der eine A in einer Ebene polarisirt ist, die mit der (als vertical gedachten) Ebene der ursprünglichen Polarisation einen Winkel von 45° zur rechten Hand, die andere einen Winkel von 45° zur linken Hand bildet *). Vermöge Satz 3) kann man nun jeden dieser Stralen wieder zwei andern Stralen gleich setzen, die die halbe Intensität haben und in ihren Phasen um $\frac{1}{4}$ einer Undulation verschieden sind. Es sei also der Stral A in zwei zerlegt, von denen der eine Aa in der Ebene + 45° polarisirt und seine Phase um + $\frac{1}{8}$ Undulation (von der des ursprünglichen Strales A) verändert ist; der andere Ab auch + 45° polarisirt, seine Phase aber um — $\frac{1}{8}$ Undulation geändert wird. Auf ähnliche Art zerlege man B in Ba in der Ebene — 45°, dessen Phase um + $\frac{1}{8}$ Undulation von der des ursprünglichen Strales B verschieden ist, und in Bb, der in der Ebene — 45° polarisirt ist und dessen Phase um — $\frac{1}{8}$ Undulation von der von B abweicht. Verbindet man diese Stralen kreuzweis zu zweien, so sind Aa, Bb gleiche, aber entgegengesetzt polarisirte Stralen, die um $\frac{1}{4}$ Undulation von einander verschieden sind und daher nach Satz 1) einen circulär polarisirten Stral bilden, in welchem die Drehung von der rechten Hand nach der linken gehen wird. Auf gleiche Weise bildet das Paar Ab, Ba einen andern gleich starken circulär polarisirten Stral, dessen Drehung der vorigen entgegengesetzt ist. Diese gehen nun zufolge Satz 7) mit ungleicher Geschwindigkeit durch den Quarz hindurch, weil sie durch verschiedene Elasticitäten fortgepflanzt werden, wodurch ein Verzögerungsraum (ein Zurückbleiben des einen Strales hinter dem andern) entsteht, und ist die Oberfläche, durch welche sie ein- und austreten, gegen die Axe schief, so findet vermöge dieser ungleichen Geschwindigkeiten eine doppelte Brechung Statt, und beide Stralen treten in verschiedenen Richtungen heraus, wie die Versuche zeigen. Ist die Oberfläche senkrecht gegen die Axe, so decken sie einander und bilden Einen Stral. Wir wollen nun untersuchen, in welchem Zustande der Polarisation sich dieser Stral befindet.

Zu diesem Zwecke denke man sich, daß ein Ätherteilchen zu gleicher Zeit von zwei kreisförmigen Bewegungen in entgegengesetzter Richtung bewegt werde, so daß die eine Bewegung in einem Kreise wie AP (Fig. 84.)

*) Der Kürze halber werde die erste Polarisation durch Polarisation + 45°, die zweite durch Polarisation — 45° bezeichnet.

in der Richtung AP geschieht, die andere in einem Kreise wie BQ in der Richtung BQ. Es seien A und B zwei Theilchen, die zu gleicher Zeit aus A und B in diesen Kreisen mit gleichen Geschwindigkeiten ausgehen, so ist die Bewegung von C in jedem Augenblick der aus beiden Bewegungen zusammengesetzten gleich. Sobald A nach P kommt, gelange B nach Q, so ist AP = BQ, und jede der Bewegungen in P und Q läßt sich in zwei zerlegen, von denen diejenigen, die mit CD parallel sind, zusammenwirken, während die in den Richtungen PD, QD parallel mit PQ einander aufheben, da sie gleich sind; C bewegt sich also bloß vermöge der Summe der beiden ersten, und seine Schwingungen sind daher geradlinig und geschehen in der Ebene CD senkrecht auf PDQ. Ist die Dicke der Platte des Quarz Null, oder so beschaffen, daß der Verzögerungsraum eine vollständige Anzahl Undulationen beträgt, so liegen A und B auf den entgegengesetzten Seiten eines Durchmessers, und die neue Polarisationsebene CD wird auf diesem Durchmesser AM senkrecht stehen oder mit der ursprünglichen Polarisationsebene zusammenfallen. Findet dies aber nicht Statt, so hat die eine Bewegung über die andere einen Theil der Peripherie MB gewonnen, der sich zur ganzen Peripherie verhält, wie die Dicke der Platte sich zu der Dicke verhält, welche einen Unterschied von einer ganzen Undulation hervorbringen würde, und nehmen wir an, daß das eine Theilchen von A ausgeht, so wird nach dem Austritte der Wellen in die Luft, wo sie mit gleicher Geschwindigkeit circuliren, das andere Theilchen nicht von M, sondern von B ausgehen, folglich wird die neue Polarisationsebene CD (die dem so eben Bewiesenen zufolge immer den Winkel ACB halbiren muß) nicht mehr mit der ursprünglichen Polarisationsebene CN zusammenfallen, sondern einen Winkel DCN damit bilden, der halb so groß als BCM, und daher MB oder dem Verzögerungsraum, d. h. der Dicke der Platte proportional ist. Das aus der Quarzplatte heraustretende Stralensystem bildet daher einen in einer Ebene polarisirten Stral, die dieselbe Lage hat, als wenn die ursprüngliche Ebene sich gleichförmig um den Stral als Axe während seines Durchganges durch die Platte gedreht hätte.

### Von der elliptischen Polarisation Fresnel's *).

Die elliptische Polarisation ist eine von Fresnel entdeckte Modification des Lichtes, welche zwischen der geradlinigen und circulären in jedem Bezuge inne steht, und als der Übergang der einen zur andern betrachtet werden kann.

In der That läßt sich jeder elliptisch polarisirte Stral allen Erscheinungen nach betrachten als ein solcher, der zugleich eine gewisse Quantität

*) Eine nähere Belehrung über elliptische Polarisation findet man in denselben Abhandlungen und Werken, welche S. 279 in Bezug zur circulären Polarisation angeführt worden sind. Vergl. auch den folgenden Artikel.

circulär polarisirtes Licht und eine gewisse Quantität geradlinig polarisirtes Licht enthält*), und, je nachdem das eine oder andere in ihm überwiegt, sich in allen seinen Characteren mehr dem circulär polarisirten Lichte oder mehr dem geradlinig polarisirten Lichte nähern wird; auch schreitet die geradlinige Polarisation, wenn sie sich durch mehrere successive totale innere Zurückwerfungen in die circuläre umwandelt, hiebei stets durch die elliptische Polarisation hindurch, und umgekehrt, wenn ein kreisförmig polarisirter Stral durch successive totale innere Zurückwerfungen in den geradlinig polarisirten Zustand zurückkehrt, geht er ebenfalls, bevor diese Rückkehr vollständig erfolgt ist, durch den Zustand der elliptischen Polarisation hindurch. Man kann daher auch die elliptische Polarisation als eine unvollkommene kreisförmige Polarisation definiren.

Wenn man will, kann man jedoch auch einen elliptisch polarisirten Stral als einen solchen betrachten, der aus zwei rechtwinklich auf einander polarisirten Bündeln von ungleicher Phase und im Allgemeinen auch von ungleicher Intensität besteht, indem jeder Stral elliptisch polarisirt ist, in dem die beiden rechtwinklich auf einander polarisirten Bündel, aus denen man ihn bestehend denken kann, nicht entweder gleiche oder um 180° verschiedene Phasen haben (wo der Stral geradlinig polarisirt sein würde, wie auch das Verhältniß der Intensitäten beider Bündel beschaffen sein mag), oder in dem nicht der Phasenunterschied 90° oder 270° beträgt, und zugleich beide Bündel gleiche Intensität haben (in welchem Falle der Stral circulär polarisirt ist).

Übrigens läßt sich leicht einsehen, wie beide Vorstellungen auf einander zurückführbar sind. Man kann nämlich, wenn man zuerst die erste Vorstellung angenommen hat, sowohl das kreisförmig als das geradlinig polarisirte Bündel nach denselben auf einander rechtwinklichen Richtungen zerlegen, und wird so, indem man die beiden Componenten, die in die eine Richtung fallen, nach den Interferenzregeln für sich zusammensetzt, und eben so die, die in die andere Richtung fallen, wirklich dadurch zwei rechtwinklich auf einander polarisirte Bündel von im Allgemeinen verschiedener Phase und Intensität erhalten.

Was übrigens die wirkliche Beschaffenheit eines elliptisch polarisirten Lichtstrales anlangt (denn das Vorige sind, wie schon angedeutet, eigentlich nur Fictionen, die zur leichtern Darstellung der Erscheinungen, welche sich nach ihnen vollkommen getreu darstellen lassen, dienen), so ist derselbe

*) Es ist wohl zu bemerken, daß diese Zerlegung bloß als eine Fiction, welche zur bequemen Repräsentirung der Erscheinungen dient, angesehen werden muß; denn an sich ist die elliptische Polarisation eine zwischen der geradlinigen und kreisförmigen wirklich inne stehenden Modification, welche den ganzen Stral in gleichem Grade betrifft (indem sie allen seinen Theilchen eine elliptische Bewegung statt einer geradlinigen oder kreisförmigen einpflanzt); kommt es jedoch bloß darauf an, die Erscheinungen darzustellen, so verhält sich ein elliptisch polarisirter Stral wirklich in allen Stücken wie eine Verbindung eines kreisförmig und eines geradlinig polarisirten Strales.

nach den Vorstellungen der Undulationstheorie ein solcher, in welchem alle Theilchen sich in Ebenen, senkrecht auf die Richtung des Strales, in gleichbeschaffenen Ellipsen bewegen.

Man sieht aus dem Vorigen, daß die elliptische Polarisation viel leichter zu erhalten sein muß, als die circuläre, da sie an viel weniger bestimmte Verhältnisse gebunden ist, aber ihre Charactere sind auch viel minder fest bestimmt; das Bleibende darin ist Folgendes:

1) Ein elliptisch polarisirter Stral verhält sich, wenn er durch ein doppelt brechendes Prisma oder eine Turmalinplatte analysirt wird, ganz wie ein Stral, der die unvollständige geradlinige Polarisation erfahren hat*), d. h. er giebt im doppelt brechenden Prisma im Allgemeinen zwei Bilder von ungleicher und mit Drehung des Prisma sich ändernder Intensität, deren Intensitäten jedoch stets weniger von einander abweichen, als bei vollständiger geradliniger Polarisation, und von denen keines bei Drehung des Prisma in irgend einer Lage ganz verschwindet; desgleichen bei Betrachtung durch eine Turmalinplatte wird die Intensität des elliptisch polarisirten Strales sich zwar bei Drehung der Platte ändern und in einer gewissen Lage derselben ein Minimum und in der darauf senkrechten ein Maximum werden; aber in keiner Lage der Platte ganz verschwinden, wie es der Fall wäre, wenn der Stral vollständig geradlinig polarisirt wäre.

In der That leuchtet ein, daß, wenn der elliptisch polarisirte Stral sich als ein solcher betrachten läßt, der eine gewisse Quantität geradlinig polarisirtes Licht und eine gewisse Quantität circulär polarisirtes Licht enthält, so wird das letzte bei jeder Lage des zerlegenden Prisma zufolge des S. 280 angegebenen Merkmales zwei Bilder gleicher Intensität liefern, so daß die ganze Variation der Intensität bloß an den Theilen der Bilder Statt finden kann, welche durch Zerlegung des geradlinig polarisirten Bündels hervorgehen; und bloß das Licht, was dieses Bündel enthält, wird ganz aus dem einen Bilde verschwinden können, wenn nämlich der Hauptschnitt des Krystalles senkrecht oder parallel mit seiner Polarisationsebene ist. Eben so wird bei Betrachtung durch eine Turmalinplatte bloß das Licht des geradlinig polarisirten Bündels ganz aus dem Strale verschwinden können (wenn nämlich die Axe des Turmalins parallel mit der Ebene der geradlinigen Polarisation ist), dagegen die eine Hälfte des circulär polarisirten Lichtes bei Drehung der Turmalinplatte stets mit unveränderter Intensität hindurchgehen wird.

Man sieht, wie wir durch diese Betrachtungen zu Methoden geführt werden, a) die Polarisationsrichtung b) die Intensität des geradlinig polarisirten Theiles im elliptisch polarisirten Strale erfahrungsmäßig zu

*) Es ist wohl zu bemerken, daß diese Übereinstimmung mit den Merkmalen eines unvollständig geradlinig polarisirten Strales bloß für das hier angeführte, nicht für die anderen Merkmale gilt.

bestimmen, und damit zugleich von der grössern oder geringern Annäherung der letztern an die circuläre Polarisation zu urtheilen.

Der geradlinig polarisirte Theil wird nämlich in der Richtung polarisirt sein, in welche der Hauptschnitt des zerlegenden Prisma's gedreht werden muß, damit die Intensität des gewöhnlichen Bildes ein Maximum werde, oder in welche die optische Axe der Turmalinplatte gedreht werden muß, damit die Intensität des durchgehenden Strales ein Minimum sei. Die Intensität des geradlinig polarisirten Theiles aber wird man finden, wenn man bei Anwendung des zerlegenden Prisma, nachdem es in die Lage gedreht ist, wo das eine Bild das Maximum, das andere das Minimum der Intensität hat, die Intensität des letztern von der des erstern abzieht, oder bei Anwendung der Turmalinplatte, die Differenz der Intensitäten des Maximumbildes und Minimumbildes, welche bei Drehung der Platte successiv in zwei auf einander rechtwinklichen Lagen der optischen Axe der Platte erscheinen, nimmt. Diese Differenz stellt die Intensität des geradlinig polarisirten Lichtes vor, welche dem circulär polarisirten Lichte im elliptisch polarisirten Strale beigemischt ist, so daß letztere sich der circulären Polarisation um so näher befinden wird, je mehr jene Differenz verschwindet.

2) Läßt man einen elliptisch polarisirten Stral durch ein dünnes Krystallblättchen gehen, und analysirt ihn dann mit einem doppelt brechenden Prisma, so giebt er zwei farbige Bilder von Complementärfarben, die aber weder mit denen eines geradlinig, noch mit denen eines circulär polarisirten Strales genau übereinstimmen, sondern zwischen beiden inne liegen.

3) Durch ein- oder mehrmalige Zurückwerfung von der Oberfläche von Metallen oder innere totale Zurückwerfungen in Glas unter geeigneten Einfallswinkeln läßt sich ein elliptisch polarisirter Stral stets auf einen geradlinig polarisirten zurückführen, wovon sich letzteres sofort aus dem bei der circulären Polarisation angeführten Umstande erklärt, daß innere totale Reflexionen in Glas einen Phasenunterschied in den partiellen Bündeln des elliptisch polarisirten Strales herbeiführen, oder vielmehr den vorhandenen fortgehends durch neue Zusätze verändern, so daß, wenn man die Einfallswinkel so wählt, daß nach einer gewissen Zahl innerer totaler Reflexionen der Phasenunterschied 180° wird, die geradlinige Polarisation wiederhergestellt sein muß. Die erste Oberfläche der Metalle scheint in dieser Hinsicht der zweiten Oberfläche durchsichtiger Körper analog zu wirken.

Die bisher bekannten Wege, die elliptische Polarisation zu erzeugen, sind folgende:

1) Durch totale innere Zurückwerfungen eines geradlinig polarisirten Strales in durchsichtigen Körpern. Ein geradlinig polarisirter Stral geht durch totale innere Zurückwerfung in durchsichtigen Körpern, sei es einmalige oder mehrmals wiederholte, unter allen Umständen in elliptische Polarisation über, außer in folgenden Fällen:

a) Wenn die innere Incidenz 90° beträgt oder der Stral parallel mit der innern Einfallsoberfläche einfällt, wie auch die übrigen Umstände (Neigung der Polarisation, Zahl der Zurückwerfungen) beschaffen sein mögen. In diesem Falle behält nämlich der Stral seine geradlinige Polarisation nach derselben Richtung bei.

b) Wenn die Polarisationsebene des einfallenden Strales parallel mit oder senkrecht auf die Ebene der innern totalen Zurückwerfungen ist, unter welchem Einfallswinkel immer diese geschehen mögen; in diesem Falle behält der Stral ebenfalls die geradlinige Polarisation in derselben Ebene bei.

c) Wenn die Neigung der Polarisation des einfallenden Strales 45° gegen die Einfallsebene ist, und wenn zugleich die Zurückwerfungen unter einem gewissen, vom Brechungsverhältniß des Mittels abhängigen, Winkel (bei Glas von 1,51 Brechungsverhältniß 54° 37′½) und in einer gewissen Anzahl (bei Glas für den vorigen Winkel zwei Mal) geschehen. In diesem Falle erlangt nämlich der Stral die circuläre Polarisation.

Bei jeder Abweichung von einer oder mehreren der von a) bis c) aufgeführten Bedingungen wird der Stral nach der Zurückwerfung elliptisch polarisirt sein.

2) Nach Brewster erlangt ein geradlinig polarisirter Stral auch durch Zurückwerfung von metallischen Oberflächen die elliptische Polarisation. Indeß zeigen diese Oberflächen hiebei zugleich nach eigenthümlich geartete Wirkungen, welche eine besondere Betrachtung der hier erfolgenden Erscheinungen nöthig machen*), die wir nachher folgen lassen werden.

3) Nach neueren Untersuchungen Airy's **) scheint sich als gewiß ansehen zu lassen, daß die Doppelbrechung im Bergkrystall das Licht elliptisch polarisirt, außer in dem Falle, wo der Stral längs der Axe hingeht, in welchem Falle sich die elliptische Polarisation in kreisförmige verwandelt. Die subtilsten Farbenerscheinungen, die der Bergkrystall hervorbringt, stimmen in der That vortrefflich mit Berechnungen, welche Airy auf folgende Voraussetzungen gegründet hat:

a) Daß der gewöhnliche Stral aus elliptisch polarisirtem Lichte bestehe,

*) Es geht nämlich, wie mir deucht, aus den im folgenden Artikel mitzutheilenden Formeln Fresnel's hervor, daß ein durch totale innere Zurückwerfung elliptisch polarisirter Stral nach Wiederherstellung zur gewöhnlichen Polarisation durch fortgesetzte innere Reflexionen in derselben Ebene seine Polarisationsebene eben so gut senkrecht gegen die Ebene der ursprünglichen Polarisation gekehrt haben muß, als dies bei der circulären Polarisation der Fall ist. Allein bei der durch Metalle hervorgebrachten und wiederhergestellten elliptischen Polarisation ist dies nicht der Fall, daher scheint mir die Oberfläche der Metalle der Hinterfläche durchsichtiger Körper nicht in aller Hinsicht gleich zu wirken.

**) Ich bin genöthigt, die nähere Mittheilung derselben, die sich in Poggend. XXIII. 204 finden, auf die nächste Lieferung dieses Repertoriums zu verspáren, da sie mir eben erst zur Hand gekommen sind. Sie sind sehr wichtig.

und die große Axe seiner Ellipsen (der elliptischen Schwingungsbahnen der Lichttheilchen) senkrecht gegen den Hauptschnitt liege; umgekehrt daß der ungewöhnliche Stral aus elliptisch polarisirtem Lichte bestehe, dessen Ellipsen ihre große Axe in dem Hauptschnitte liegen haben.

b) Daß, wenn der gewöhnliche Stral rechts elliptisch polarisirt ist, der ungewöhnliche Stral links elliptisch polarisirt sei, und so umgekehrt.

c) Daß das Verhältniß der Axen in beiden Ellipsen gleich sei, und daß es gleich Eins werde, wenn die Richtung der Stralen mit der Krystallaxe zusammenfällt; daß dagegen jene Axen, nach einem unbekannten Gesetze, ungleich werden, so wie die Stralen gegen die Krystallaxe neigen. Die kleine Axe der Ellipsen hat eine merkwürdige Größe, wenn die Stralen um 10° gegen die Krystallaxe neigen.

d) Daß der Lauf der Stralen nach der Refraction durch die von Huyghens für den Kalkspath gegebene Construction bestimmt werden könne, mit dem Unterschiede jedoch, daß das abgeplattete Sphäroid, welches zur Bestimmung der Lage des ungewöhnlichen Strales dient, nicht mit der Kugel, welche die Lage des gewöhnlichen Strales bestimmt, als in Berührung, sondern als gänzlich in derselben enthaltend, gedacht werden müsse.

Ich hoffe, ein anderes Mal noch ein ausführlicheres Kapitel über die elliptische Polarisation liefern zu können. Es schien mir indeß nicht überflüssig, hier einige vorläufige Kenntnisse davon beizubringen. Mehreres Nähere darüber enthält auch der folgende Artikel.

## Nähere Bestimmungen über Verwandlung der geradlinigen Polarisation in elliptische oder kreisförmige Polarisation durch totale innere Zurückwerfungen, von Fresnel*).

Bekanntlich läßt sich jeder im polarisirten Zustande einfallende Stral von der Intensität J, welches Azimuth u auch seine Polarisation gegen die Einfallsebene haben mag, als eine Vereinigung zweier partieller Stralen ansehen, deren einer in der Einfallsebene, der andere senkrecht auf die Einfallsebene polarisirt ist, und welche respectiv die Intensitäten $J \cos^2 u$ und $J \sin^2 u$ haben und eine eben solche Zerlegung findet am zurückgeworfenen Strale Statt.

Gesetzt nun, es falle ein so im Azimuth u gegen die Einfallsebene polarisirter Stral auf die innere Oberfläche eines einfach brechenden Körpers**), so werden die beiden senkrecht auf einander polarisirten partiellen

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLVI. 225 oder Pogg. XXII. 90. — In Herschel's Werk S. 590 ist meines Erachtens eine falsche Darstellung dieses Gegenstandes gegeben.

**) Es ist im Folgenden stets vorausgesetzt, daß der innen einfallende Stral, an welchem die von obigen Umständen abhängigen Erscheinungen beobachtet werden sollen, senkrecht durch eine Oberfläche ein- und auch senkrecht durch eine Oberfläche wieder austrete, damit seine Polarisation oder die Modification, die

Bündel des zurückgeworfenen Strales genau an demselben Puncte der Oberfläche zurückgeworfen werden, mithin kein Weges- oder Phasenunterschied derselben Statt finden, so lange der innere Einfallswinkel kleiner ist, als die Gränze, bei welcher totale Reflexion einzutreten beginnt, so lange also die Zurückwerfung bloß partiell geschieht; wenn aber der innere Einfallswinkel ein solcher ist, bei dem totale Reflexion Statt findet, so findet, wie Fresnel mittelst sehr scharfsinniger theoretischer, durch nachher anzuführende Versuche bestätigter, Erörterungen*) nachgewiesen hat, ein Phasen- oder Wegesunterschied beider partiellen Bündel im reflectirten Strale Statt, indem der eine in einer etwas andern Tiefe als der andere zurückgeworfen wird.

Dieser Unterschied ist bei der ersten Gränze der totalen Reflexion **) noch null, steigt von da mit zunehmendem Einfallswinkel bis zu einem Maximum, und nimmt dann wieder ab bis zur zweiten Gränze der totalen Reflexion, d. h. wo die innere Incidenz = 90° oder parallel mit der Einfallsoberfläche ist, wo er abermals null wird.

Der Phasenunterschied, der durch eine einmalige totale Reflexion unter einem gewissen Winkel erzeugt worden ist, verdoppelt, verdreifacht sich u. s. f., wenn der Stral noch eine zweite, dritte Reflexion u. s. f. unter demselben Winkel erfähret, indem jede neue Reflexion einen dem ersten gleichen Phasenunterschied hinzufügt, so daß sich durch hinreichend oft wiederholte Reflexionen unter demselben Winkel der Phasenunterschied beliebig vergrößern läßt.

Nun geben nach den Gesetzen der Interferenz ***) zwei geradlinig und rechtwinklich auf einander polarisirte Bündel bloß in dem Falle durch ihre Vereinigung wieder einen geradlinig polarisirten Stral, wenn der Phasenunterschied beider Bündel null ist oder 180° oder ein Mehrfaches von 180° beträgt, oder mit anderen Worten, wenn ihr Wegesunterschied null ist, oder gleich einer oder mehreren halben Undulationen (wie auch ihre relative Intensität beschaffen sein mag); dagegen bei jedem andern Phasenunterschiede beider rechtwinklich auf einander polarisirten partiellen Bündel der aus ihm resultirende Stral im Allgemeinen eine elliptische oder kreisförmige Polarisation haben wird, d. h. die Bahnen der Theilchen, aus denen er

er durch die innere Zurückwerfung erfährt, nicht durch Brechung an der Ein- oder Austrittsfläche abgeändert werden.

*) Diese Erörterungen fußen allerdings nur auf wahrscheinlichen, noch nicht ganz sicher gestellten, Grundlagen, so daß bei den darauf gegründeten Berechnungen der Erscheinungen noch Zweifel der Richtigkeit bleiben könnten; indeß die Coincidenz der Versuche mit den Resultaten derselben stellt sie vollends sicher.

**) d. h. wo sin i $= \frac{1}{n}$, wenn i der innere Einfallswinkel, n das Brechungsverhältniß ist.

***) Sie werden zum Schluß des Abschnittes über das Licht mitgetheilt werden.

besteht, werden elliptisch oder kreisförmig (in Ebenen senkrecht auf die Richtung des Strales) sein. Es erhellt also, daß ein in geradlinig polarisirtem Zustande innen einfallender Stral durch Zurückwerfung unter Winkeln totaler Reflexion die elliptische oder kreisförmige Polarisation erlangt.

Kennt man von beiden auf einander rechtwinklich polarisirten partiellen Bündeln, welche im zurückgeworfenen Strale enthalten sind, die relativen Intensitäten und den Phasenunterschied, so läßt sich nach den (zum Schluß des Abschnittes über das Licht mitzutheilenden) Interferenz-Formeln*) dann die Form, Richtung und Größe der Schwingungen und der hievon abhängige Polarisationszustand des zurückgeworfenen Strales, der aus ihrer Vereinigung resultirt, berechnen. Zu dieser Bestimmung der gesuchten Intensitäten und des Phasenunterschiedes nun führen folgende Formeln**).

Es seien gegeben:

J die Intensität des einfallenden Strales;

u die Neigung der Polarisationsebene des innen einfallenden Strales gegen die Einfallsebene;

i der innere Einfallswinkel;

n das Brechungsverhältniß des Mittels, in welchem der innere Einfall geschieht;

und es werden aus jenen Größen gesucht:

$a^2$ die Intensität des in der Einfallsebene polarisirten partiellen Bündels;

$b^2$ die Intensität des senkrecht auf die Einfallsebene polarisirten partiellen Bündels;

$\gamma$ der Phasenunterschied dieser beiden Bündel;

so hat man:

$$\left.\begin{array}{l} a^2 = J\cos^2 u \\ b^2 = J\sin^2 u \end{array}\right\} \qquad (1)$$

$$\cos\gamma = \frac{2n^2\sin^4 i - (n^2+1)\sin^2 i + 1}{(n^2+1)\sin^2 i - 1} \qquad (2)$$

Man kann ferner noch zu bestimmen wünschen, bei welchem innern Einfallswinkel $i_m$ das Maximum des Phasenunterschiedes $\gamma$ eintritt, und welches die Größe $\gamma_m$ dieses Maximums ist. Hiezu führen folgende Formeln:

$$\sin^2 i_m = \frac{2}{n^2+1} \qquad (3)$$

$$\cos^2 \gamma_m = \frac{8n^2}{(n^2+1)^2} - 1 \qquad (4)$$

Weiter kann man zu wissen verlangen, welcher Einfallswinkel i erfo-

*) Mit Berücksichtigung, daß darin die Intensitäten der Bündel den ihnen proportionalen Quadraten der Schwingungsamplitude substituirt werden können.

**) Die nachstehenden Formeln finden sich nicht alle in der Originalabhandlung, lassen sich aber ohne Schwierigkeit aus der Grundformel (2) ableiten.

derlich ist, damit nach mmal wiederholter innerer Reflexion unter diesem Winkel der Phasenunterschied beider partiellen Bündel = t Graden sei. Die hiezu führende Formel ist folgende, worin $z = \cos\left(\frac{t}{m}\right)$

$$\sin^2 i = \frac{(n^2+1)(1+z) \pm \sqrt{(1+z)[(n^2+1)^2(1+z)-8n^2]}}{4\,n^2} \qquad (5)$$

Um zu bestimmen, welche Zahl m von Zurückwerfungen unter dem Winkel i erfoderlich ist, damit der Phasenunterschied t Grade betrage, gilt die Formel

$$m = \frac{t}{\mathrm{arc}\,(\cos = z)} \qquad (6)$$

worin

$$\left.\begin{aligned} z &= \frac{2\,n^2 \sin^4 i - (n^2+1)\sin^2 i + 1}{(n^2+1)\sin^2 i - 1} \\ &= \frac{2\,n^2 \sin^4 i}{(n^2+1)\sin^2 i - 1} - 1 \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Für den Winkel, wo das Maximum des Phasenunterschiedes eintritt, d. h. wo

$$\sin^2 i = \frac{2}{n^2+1}$$

hat man statt vorigen allgemeinen Ausdruckes für z folgenden:

$$\left.\begin{aligned} z &= \frac{6n^2 - n^4 - 1}{(n^2+1)^2} \\ &= \frac{8\,n^2}{(n^2+1)^2} - 1 \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

Um endlich zu bestimmen, welches Brechungsverhältniß n eine Substanz haben muß, damit durch einmalige totale Zurückwerfung unter dem Winkel i der Phasenunterschied $\gamma$ hervorgebracht werde, gilt die Formel:

$$n^2 = \frac{\cos\gamma + 1}{\mathrm{tang}^2\, i\,(\cos 2\,i + \cos\gamma)} \qquad (9)$$

### Folgerungen vorstehender Formeln und Erfahrungsbelege dazu.

1) Aus Formel 2) folgt, daß an den beiden Gränzen der totalen Reflexion, wo $\sin i = \frac{1}{n}$ und $= 1$, kein Phasenunterschied beider partiellen Stralen Statt findet, da hier $\cos\gamma = 1$, mithin $\gamma = 0$. Die Vereinigung beider partiellen Bündel muß demnach ein Licht erzeugen, das wie das einfallende vollständig polarisirt ist, und zwar in demselben Azimuth als das einfallende Licht. Dieß stimmt mit der Erfahrung überein.

2) Die Formel (2) zeigt ferner, daß der Phasenunterschied mit von der ersten Gränze der totalen Reflexion an zunehmenden Einfallswinkeln nicht in's Unbestimmte zunimmt, sondern, wie schon oben erwähnt wurde,

ein Maximum bei einem gewissen Einfallswinkel oder Werthe von i erreicht. Die Größe dieses Maximum und der Werth von i, bei dem es eintritt, werden durch Formel (3) und (4) bestimmt, die auf die bekannte Weise (durch Differenziren der Formel (2) und Setzen des Differenzials = 0) abgeleitet sind. So ergiebt sich für Spiegelglas von St. Gobain, dessen Brechungsverhältniß = 1,51, das Maximum des Phasenunterschiedes = 45° 48',5 mithin wenig größer als ⅛ Kreisumfang, und der Winkel i, bei dem es eintritt, = 51° 20'¼.

In der That fand Fresnel bei schon vorlängst angestellten Versuchen, daß der größte Phasenunterschied (nach davon abhängigen Erscheinungen hergeleitet), der durch eine einzige innere Reflexion in Glas von 1,51 Brechungsverhältniß hervorgebracht zu werden vermag, kaum ⅛ Undulation oder 45° überschreitet, und daß dieser Unterschied wieder abnimmt, wenn man über den Einfallswinkel, bei dem er eintrat, hinausgeht, bis er bei i = 90° Null geworden ist.

3) Das Maximum des Phasenunterschiedes ist um so größer und tritt bei um so kleineren Einfallswinkeln ein, je größer das Brechungsverhältniß der Substanz ist (Formel (3) und (4)).

4) Allgemein findet man durch Formel (5), daß, wenn es darauf ankommt, einen bestimmten Phasenunterschied durch ein- oder mehrmalige Reflexion unter demselben Winkel zu erzeugen, zwei verschiedene Einfallswinkel diesem Genüge leisten, die jedoch in dem besondern Falle sich auf einen einzigen reduciren, wenn der verlangte Phasenunterschied ein Maximum wird *).

5) Da ein circulär polarisirter Stral ein solcher ist, der aus zwei rechtwinklich auf einander polarisirten Bündeln von gleicher Intensität, deren Phasen um 90° verschieden sind, besteht, so wird zur Erlangung eines circulär polarisirten Strales durch innere totale Reflexion zuvörderst erforderlich sein, daß der einfallende Stral um 45° gegen die Einfallsebene polarisirt sei, damit die Intensitäten der partiellen rechtwinklich auf einander polarisirten Bündel, aus denen der zurückgeworfene Stral besteht, einander nach Formel (1) gleich werden **). Um aber den Werth des Einfallswinkels i zu berechnen, welcher erfoderlich ist, damit nach 1maliger oder mmaliger innerer Reflexion unter demselben der Stral circulär polarisirt sei, hat man Formel (5) anzuwenden, indem man t = 90° setzt. Man erhält solchergestalt zwei Werthe für i, bei denen circuläre Polarisation eintritt.

6) Da das Brechungsverhältniß oder der Werth von n für die verschiedenen Farbenstralen verschieden ist, so können in einem einfallenden weißen Stral nie alle Farbenstralen zugleich die vollständige circuläre Polarisa-

*) Alsdann nämlich wird $(n + 1)^2 (z + 1) - 8n^2$ in Formel (5) gleich Null, vermöge des Werthes, den z nach Formel (4) erlangt.

**) Für u = 45° ist nämlich cos u = sin u.

tion erfahren, weil jeder hiezu unter einem verschiedenen Winkel einfallen müßte. Die circuläre Polarisation wird also, wenn der einfallende Stral nicht homogen ist, stets nur für einen gewissen Farbenstral vollständig und für die andern bloß angenähert sein können.

Um die Annäherung möglichst vollkommen erscheinen zu lassen, wird man die vollständige circuläre Polarisation für den mittlern Stral zu bewerkstelligen suchen und von beiden Winkeln, unter welchen sie erfolgen kann, den größern, d. h. denjenigen, der von der (für die verschiedenen Farbenstralen verschiedenen) ersten Gränze totaler Reflexion am weitesten abliegt, zu wählen haben.

7) Das nach Folgerung 2) für Glas geltende Resultat, daß eine einmalige innere Reflexion nicht hinreicht, einen Phasenunterschied von 90° zu erzeugen, ist nicht allgemein, indem bei hinreichend großem Brechungsverhältniß allerdings dieser Erfolg schon bei einer einmaligen Reflexion eintreten kann. So findet man aus Formel (9), mit Zuziehung von (3) und (4), daß ein Körper, der durch einmalige Reflexion einen Phasenunterschied von 90° als Maximum erzeugen soll, ein Brechungsverhältniß = 2,414213 *) besitzen, und der erfoderliche Einfallswinkel hiebei 32° 45',8 betragen muß.

8) Die genaue Incidenz, welche erfoderlich ist, damit ein, um 45° gegen die Einfallsebene polarisirt einfallender, Stral nach zweimaliger Zurückwerfung unter demselben Winkel circulär polarisirt erscheine, hat, nach Formel (5) berechnet, für Glas von 1,51 Brechungsverhältniß die beiden Werthe 48° 37'$\frac{1}{2}$ und 54° 37'$\frac{1}{2}$, wo bei Versuchen, wo man eine möglichste Annäherung zur vollständigen Polarisation aller Farbenstralen verlangt, der letzte Werth vorzuziehen ist.

Für eine dreimalige innere Zurückwerfung ist der berechnete erfoderliche Winkel 45° 10'$\frac{2}{3}$ und 69° 12'$\frac{1}{3}$; für eine viermalige Zurückwerfung 42° 19' 50" und 74° 41' 50".

Die Richtigkeit dieser Berechnungen hat Fresnel durch folgende Versuche bewährt:

a) Er schnitt aus Spiegelglas von St. Gobain, dessen Brechungsverhältniß = 1,51, ein Parallelepiped, bei dem die Eintritts- und Austrittsflächen den Winkel 54° 37' mit den beiden anderen Flächen machten, so daß sie senkrecht waren gegen den, um 45° gegen die Einfallsebene polarisirten, Stral, welcher hier successiv zwei innere Reflexionen unter der berechneten Incidenz von 54° 37' erlitt. Bei Untersuchung der ausfahrenden Stralen mit einem Kalkspathrhomboeder wurden die beiden Bilder beinahe farblos und von gleicher Stärke gefunden, in welches Azimuth auch der Hauptschnitt des Rhomboeders gebracht werden mochte, welches das Kennzeichen der circulären Polarisation ist.

*) Die erste Gränze der totalen Reflexion ist hier bei 24° 28'. — Die Formel (9) würde übrigens außer dem obigen Werthe noch den zweiten Werth [illegible] für n finden lassen, welchem aber ein unmöglicher Werth von i entspricht.

b) Er ließ zwei Glastrapezoeder schneiden, an denen die Ein- und Austrittsflächen in entgegengesetzter Richtung gegen die beiden reflectirten Flächen neigten, in dem einen um 48° 11′, in dem andern um 69° 12′, so daß sie senkrecht waren gegen die einfallenden Stralen und gegen die, welche in dem ersten Glase unter der Incidenz 48° 11′ und in dem zweiten unter 69° 12′ dreimal reflectirt wurden.

Die erste Incidenz kommt dem Beginnen der totalen Reflexion zu nahe, als daß nicht der Werth von $\gamma$ merklich von einer Stralengattung zur andern variiren sollte. Auch bemerkte Fresnel einige Spuren von Färbung in den beiden Bildern, als er das ausfahrende Bündel mit einem Kalkspathrhomboeder untersuchte, übrigens schien es ihm so vollständig circulär polarisirt zu sein, als man es nur erwarten konnte.

Das andere, nach der Incidenz 69° 12′ geschnittene, Glas gab ein Bündel, das für die verschiedenen Stralen weit gleichförmiger modificirt war. Mit einem Kalkspathrhomboeder untersucht, gab es stets zwei weiße Bilder von gleicher Intensität, in welches Azimuth auch der Hauptschnitt des Krystalles gedreht wurde.

c) Endlich wandte Fresnel vier innere Reflexionen unter einem Winkel von 74° 42′ in einem gegen den ein- und austretenden Stral senkrecht zugeschnittenen Glasparallelepiped an. Auch hier erhielt er einen vollständig circulär polarisirten Stral.

9) Das Maximum des Phasenunterschiedes, was durch einmalige totale Zurückwerfung von der Berührungsfläche von Glas (von der vorigen Beschaffenheit) und Wasser erlangt werden kann, ist 14° und findet bei der Incidenz 69° 34′ Statt, so daß also sechs solcher Reflexionen noch nicht hinreichend sind, den Phasenunterschied bis 90° zu treiben (denn $6 \times 14 = 84°$), oder einen um 45° gegen die Einfallsebene polarisirten Stral circulär zu polarisiren.

Das Erfoderniß so vieler Reflexionen, die noch dazu unter so schiefen Incidenzen erfolgen müßten, erschwert Versuche über die Hervorrufung der circulären Polarisation durch innere Reflexion an der Berührungsfläche von Glas und Wasser, da man dazu eine Glasplatte von so großer Länge nöthig hätte, daß zu befürchten steht, sie möchte, auch bei möglichst guter Abkühlung, doch auf einem so langen Wege durch Spuren regelmäßig krystallinischen Gefüges eine doppelt brechende Wirkung äußern und mithin einen dem zu prüfenden Phänomen fremdartigen Gang- oder Phasenunterschied in die beiden Lichtbündel bringen.

Da jedoch Fresnel auch für den betreffenden Fall die Gültigkeit seiner Formeln zu prüfen wünschte, so traf er den Ausweg, zwei totale Reflexionen an der Berührungsoberfläche von Glas und Wasser zu combiniren mit zwei totalen Reflexionen an der Berührungsfläche von Glas und Luft, damit diese die von den beiden ersten angefangene circuläre Polarisation vervollständigten. Er fand, daß die Incidenz, welche bei innerer Reflexion

bloß am Glas $\gamma$ = 31° machte, war i = 68° 27′, die, wie man sieht, wenig abweicht von i = 69° 34′, welche Incidenz dem Maximum von $\gamma$ für die Berührungsfläche des Glases mit Wasser entspricht. Da eine Größe in der Nähe ihres Maximums wenig variirt, so mußte bei Annahme der Incidenz 68° 27′ noch ganz nahe 14° Phasenunterschied für die Reflexion an der Berührungsfläche von Glas und Wasser Statt finden, wie sich auch durch directe Berechnung ergiebt, welche 13° 53′$\frac{2}{3}$ finden läßt. Diese, addirt zu 31°, geben 44° 53′$\frac{2}{3}$, dessen Doppeltes 89° 47′$\frac{1}{3}$, wie man sieht, wenig von 90° abweicht.

Fresnel ließ demgemäß aus Glas ein Parallelepiped schneiden, dessen Ein- und Austrittsflächen unter 68° 27′ gegen die anderen Flächen neigten, und dessen Länge so abgemessen war, daß die zur Mitte der Vorderfläche einfallenden Stralen nach vier inneren Reflexionen unter der Incidenz 68° 27′ auch wieder zur Mitte der Hinterfläche hinausstraten, so daß es hinrichte, das Parallelepiped so weit zu neigen, bis die Eintrittsfläche sich in der Mitte der Austrittsfläche spiegelte, um gewiß zu sein, daß die zum Auge gelangenden Stralen wirklich unter der berechneten Incidenz reflectirt worden waren*). Wenn das Parallelepiped nur mit Luft in Berührung stand, gab der ausfahrende Lichtbündel, bei Untersuchung mit einem Kalkspathrhomboeder, zwei Bilder von veränderlicher und im Allgemeinen ungleicher Intensität, und man konnte wahrnehmen, daß das Licht schon über den Punct der Circularpolarisation hinaus war. Legte man aber ein Stück feuchten Papieres auf eine der reflectirenden Flächen, so erschien der ausfahrende Lichtbündel vollständig depolarisirt, d. h. circulär polarisirt, übereinstimmend mit der Rechnung. Wenn man endlich beide reflectirenden Flächen benetzte, so war das Licht nur theilweise depolarisirt, und man konnte an der Richtung der Ebene seiner partiellen Polarisation erkennen, daß es sich diesseits und nicht jenseits der vollständigen Depolarisation befand, was letzteres der Fall war, wenn keine der Flächen benetzt wurde.

10) Wenn die ursprüngliche Polarisation des innen einfallenden Strales eine andere als 45° gegen die Einfallsebene ist, so kann er, weil er sich dann in zwei ungleiche partielle Bündel zerlegt, jedenfalls nur eine elliptische Polarisation erlangen, die auch durch keine Anzahl wiederholter Reflexionen in derselben Ebene, unter welchen Einfallswinkeln sie immer geschehen mag, in die kreisförmige Polarisation übergehen kann, weil die relative Intensität beider partieller Bündel durch diese wiederholten Reflexionen ungeändert bleibt, zur circulären Polarisation aber Gleichheit beider partiellen Bündel wesentlich ist. Dagegen kann ein solcher elliptisch polarisirter Stral bei öfters wiederholter Reflexion in derselben Ebene unter gehörigen Einfallswinkeln zur geradlinigen Polarisation zurückkehren,

*) Auf gleiche Weise regulirte er die Länge anderer Glasstücke, die zu den vorhergehenden Versuchen angewandt wurden.

und es ist für eine gleiche Anzahl von Reflexionen der hiezu erforderliche Einfallswinkel bei der elliptischen Polarisation derselbe, als bei der circulären, welches auch die Neigung der ursprünglichen Polarisation gegen die Einfallsebene sein mag (Versuche über die Bestätigung dieser Folgerung der Theorie fehlen noch).

In der That hängt der Zuwachs des Phasenunterschiedes beider partieller Bündel, den jede successive Reflexion hervorbringt, gar nicht von der ursprünglichen Neigung der Polarisationsebene, sondern nur vom Einfallswinkel ab, und er wird daher für eine gleiche Anzahl Reflexionen bei denselben Einfallswinkeln 180° werden (welches die Bedingung der Rückkehr zur geradlinigen Polarisation ist), unter welcher Neigung auch der Stral ursprünglich gegen die Einfallsebene polarisirt sein mochte.

11) Die Polarisationsebene sowohl des circulär polarisirten, als des elliptisch polarisirten Strales steht nach der Wiederherstellung zur geradlinigen Polarisation senkrecht auf der ursprünglichen Polarisationsebene. Dies folgt nach den Interferenzgesetzen aus der Verwandlung des Phasenunterschiedes beider an Intensität gleich bleibenden partiellen Bündel aus 0° in 180°.

Die vorstehenden Formeln und Erörterungen enthalten die Endresultate der Berechnungen und Erfahrungen Fresnel's über die Umwandlung der geradlinigen Polarisation in circuläre oder elliptische durch totale innere Reflexion, und sie sind es, auf welche man zur Bestimmung der Erscheinungen zurückzugehen hat. Wie man sieht, wird dabei der zurückgeworfene Stral in zwei senkrecht auf einander polarisirte Stralen oder Bündel von im Allgemeinen verschiedener (blos bei dem Azimuth der Polarisation = 45° gleicher) Intensität und von abweichender Phase zerlegt gedacht und nach den Interferenzregeln ermittelt, was aus der Vereinigung zweier solcher partiellen Stralen entsteht. Die Analyse, durch welche Fresnel zu dieser Darstellung der Erscheinungen gelangt ist, schreitet aber noch durch eine andere Zerlegung und Wiederzusammensetzung der beiden partiellen Stralen selbst durch, wovon wir um so mehr sprechen müssen, da hiebei die Grundmodificationen zum Vorschein kommen, welche die totale innere Reflexion auf die polarisirten Stralen hervorbringt, von welchen die oben angeführten Resultate in der That erst abhängen.

Fresnel weist nämlich durch seine Erörterungen nach, daß, wenn ein in der Einfallsebene oder ein senkrecht auf dieselbe polarisirter Stral (wie die beiden partiellen Stralen oder Bündel solche darstellen) unter Winkeln totaler Zurückwerfung innen einfällt, er sich hiebei vermöge der Wirkung dieser Reflexion selbst in zwei Bündel, die wir componirende Bündel nennen wollen, zerlegt*), die mit ihm in derselben Ebene

*) Ein ursprünglich unter einer gewissen Neigung gegen die Einfallsebene polarisirter Stral läßt sich also nach der Zurückwerfung zuerst in zwei partielle

polarisirt sind, aber verschiedene, mit der Größe des innern Einfallswinkels sich ändernde, Intensitäten haben und in der Phase um $\frac{1}{4}$ Undulation oder 90° von einander abweichen, indem das eine componirende Bündel die Phase des einfallenden Strales bei der Zurückwerfung von der Trennungsfläche beider Mittel selbst fortsetzt, das andere componirende Bündel aber in einer um so viel davon abweichenden Tiefe zurückgeworfen wird, daß der Wegesunterschied $\frac{1}{4}$ Undulation beträgt. Dies gilt sowohl für einen parallel, als einen senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirten Stral, mithin auch für die beiden partiellen Stralen, in die sich ein unter beliebigem Azimuth gegen die Einfallsebene polarisirt einfallender Stral zerlegen läßt, nur daß für beide Stralen das Verhältniß der Intensitäten seiner componirenden Bündel verschieden ist, wie die nachstehenden Formeln näher zeigen.

Fresnel giebt nun zuerst Formeln, um für jeden gegebenen Einfallswinkel totaler innerer Zurückwerfung zu bestimmen:

1) die Intensitäten beider componirenden Bündel in dem partiellen Strale, welcher parallel mit der Einfallsebene polarisirt ist;

2) die Intensitäten beider componirenden Bündel in dem Strale, welcher senkrecht auf der Einfallsebene polarisirt ist.

Indem nun solchergestalt die Intensitäten und der jedenfalls 90° betragende Phasenunterschied beider componirenden Bündel in jedem zurückgeworfenen partiellen Strale bekannt sind, ist die Beschaffenheit desselben dadurch gänzlich bestimmt; denn seine Intensität ist der Summe der Intensitäten der componirenden Bündel gleich, er ist noch in derselben Ebene parallel oder senkrecht auf die Zurückwerfungsebene polarisirt, als vorher, und der Unterschied seiner Phase von der Phase desjenigen seiner componirenden Bündel, welcher die Phase des einfallenden Strales fortsetzt, läßt sich durch die Interferenzregeln bestimmen. Indem nun so die Phase für beide aus den componirenden Bündeln resultirenden partiellen Stralen bekannt ist, ist auch der Phasenunterschied $\gamma$ der beiden partiellen Stralen bekannt und somit die Formel (2) gefunden, aus der die nachfolgenden sich dann auf einfache Weise ableiten lassen.

Es wird vielleicht nicht überflüssig sein zu bemerken, daß solchergestalt dreierlei Phasenunterschiede bei dieser Analyse der Erscheinungen zu betrachten vorkommen, die es wichtig ist, nicht zu verwechseln.

1) Der Phasenunterschied zwischen den beiden componirenden Bündeln, der in beiden partiellen Stralen 90° oder $\frac{1}{4}$ Undulationen beträgt.

2) Der Unterschied der Phase jedes partiellen, aus Zusammensetzung der componirenden Bündel resultirenden, Strales von der Phase desjenigen seiner componirenden Bündel, welches die Phase des einfallenden Strales

Stralen, deren einer in, der andere senkrecht auf der Einfallsebene polarisirt ist, zerlegen, jeder dieser partiellen Stralen aber in zwei (in derselben Ebene mit dem partiellen Strale polarisirte) componirende Bündel.

an der Gränzfläche beider Mittel fortsetzt. Dieser, in den nachgehends mitzutheilenden Formeln mit $\alpha$ und $\beta$ zu bezeichnende, Phasenunterschied*) ist in beiden partiellen Stralen verschieden und hängt bei jedem von der relativen Intensität seiner beiden componirenden Bündel ab, welche Intensität selbst wieder von der Größe des innern Einfallswinkels abhängt (daher sich auch $\alpha$ und $\beta$ sich gleich als Functionen des letztern ausdrücken lassen).

3) Der Phasenunterschied beider partiellen zurückgeworfenen Stralen, aus denen der totale zurückgeworfene Stral besteht. Dieser Unterschied, den wir mit $\gamma$ bezeichnet haben, ist die Differenz van den beiden mit $\alpha$ und $\beta$ bezeichneten Unterschieden, und wird durch Formel (2) als Function des innern Einfallswinkels bestimmt.

Wir wollen jetzt in Bezug auf diese Analyse der Erscheinungen die Formeln hinzufügen, welche Fresnel zur Bestimmung der Intensitäten der componirenden Bündel in beiden partiellen Stralen und der Phasenunterschiede $\alpha$ und $\beta$ als Functionen des innern Einfallswinkels gegeben hat.

Es mögen im Folgenden $a^2$, $b^2$, $i$, $n$ die S. 297 angegebenen Bedeutungen haben; ferner sei:

$A_0$ die Intensität desjenigen componirenden Bündels im zurückgeworfenen Strale, dessen Phase mit der des einfallenden Strales an der Trennungsfläche des Mittels coincidirt oder sie fortsetzt.

$A_1$ die Intensität des andern componirenden Bündels, dessen Phase um $\frac{1}{4}$ Undulation von der des einfallenden Strales an der Trennungsfläche der Mittel abweicht.

$\alpha$ der Phasenunterschied des aus der Vereinigung beider componirenden Bündel resultirenden zurückgeworfenen partiellen Strales von demjenigen seiner componirenden Bündel, dessen Intensität $A_0$ ist, für den Fall, daß der einfallende Stral in der Einfallsebene polarisirt ist.

$\beta$ dasselbe für den Fall, wo der einfallende Stral senkrecht auf die Einfallsebene polarisirt ist.

Man hat dann:

In dem parallel mit der Einfallsebene polarisirten partiellen Strale:

$$A_0 = a^2 \left[\frac{1 + n^2 - 2n^2 \sin^2 i}{n^2 - 1}\right]^2$$

$$A_1 = a^2 \frac{4n^2 (1 - \sin^2 i)(n^2 \sin^2 i - 1)}{(n^2 - 1)^2}$$

$$\sin \alpha = - \frac{2n \sqrt{(1 - \sin^2 i)(n^2 \sin^2 i - 1)}}{n^2 - 1}$$

$$\cos \alpha = \frac{n^2 + 1 - 2n^2 \sin^2 i}{n^2 - 1}$$

*) $\alpha$ bei dem parallel, $\beta$ bei dem senkrecht auf die Einfallsebene polarisirten partiellen Strale.

In dem senkrecht auf die Einfallsebene polarisirten partiellen Strale:

$$A_0 = b^2 \frac{(n^4+1)^2 (\sin^2 i - n^2 - 1)^2}{(n^2-1)^2 [(n^2+1)\sin^2 i - 1]^2}$$

$$A_1 = b^2 \frac{4 n^2 (1 - \sin^2 i)(n^2 \sin^2 i - 1)}{(n^2-1)^2 [(n^2+1)\sin^2 i - 1]^2}$$

$$\sin\beta = \frac{2\sqrt{n^2 (1 - \sin^2 i)(n^2 \sin^2 i - 1)}}{(1-n^2)[(1+n^2)\sin^2 i - 1]}$$

$$\cos\beta = \frac{(n^4+1)\sin^2 i - n^2 - 1}{(1-n^2)[(1+n^2)\sin^2 i - 1]}$$

## Wirkung der Metalle auf polarisirtes Licht oder elliptische Polarisation Brewster's.

Schon früher haben Brewster (Pogg. XXI. 219) und Biot (Biot's Lehrb. V. 223) Untersuchungen über die Wirkung der Reflexion von metallischen Oberflächen auf polarisirte Stralen angestellt, die schon einen Theil der Eigenthümlichkeiten, die sich hier darbieten, kennen lehrten, jedoch weder so ins Detail verfolgt noch so auf sichere und richtige Bestimmungen gebracht waren, als es durch die neueren Versuche und Erörterungen Brewster's geschehen ist, die wir hier folgen lassen werden*).

Das allgemeine Resultat ist, daß ein, auf irgend eine metallische Oberfläche in gewöhnlich polarisirtem Zustande auffallender Stral in elliptisch polarisirtem Zustande zurückgeworfen wird, unter welchem Einfallswinkel er auch auffalle, oder in welcher Neigung gegen die Zurückwerfungsebene er auch anfänglich polarisirt gewesen sein mag, außer in folgenden Fällen: a) wenn die Incidenz 0° oder 90° beträgt; b) wenn die Neigung der ursprünglichen Polarisation gegen die Zurückwerfungsebene 0° oder 90° ist, in welchen Fällen der zurückgeworfene Stral seine geradlinige oder gewöhnliche Polarisation beibehält.

Daß wirklich in den anderen Fällen der anfangs geradlinig polarisirte Stral nach der Zurückwerfung die elliptische Polarisation erlangt hat, er-

*) Die Originalabhandlung ist in den Phil. transact. f. 1830. P. II. p. 287 enthalten, Übersetzungen davon in Pogg. XXI. 219, Baumg. Zeitschr. X. 101. — Ich muß bemerken, daß diese Arbeit mit großer Fahrlässigkeit von Brewster niedergeschrieben worden ist, indem sich eine Menge Unklarheiten der Darstellung und Versehen im Ausdrucke der Formeln darin finden, welche das Studium dieser Arbeit sehr erschweren. Es geht dies so weit, daß ich ungeachtet angestrengter Aufmerksamkeit über mehrere Puncte der Darstellung nicht habe in's Klare zu kommen vermocht, und wer sich die Mühe geben will, die Originalabhandlung selbst zu studiren, dürfte finden, daß die Schuld hiebei mehr an Brewster als an mir liegt. Es ist dies um so mehr zu bedauern, da diese Arbeit an interessanten und wichtigen Resultaten sehr reich ist. — Auch das mag bemerkt werden, daß die im Folgenden mitzutheilenden Formeln sämmtlich empirisch sind, und bei einigen derselben die Gültigkeit noch ziemlich zweifelhaft sein möchte, insofern man nicht die zu ihrem Belege beigebrachten Versuche für ausreichend hiezu ansehen will.

giebt sich daraus, daß er alle drei auf S. 292 angeführten, Merkmale zeigt*). Denn 1) er verhält sich bei directer Analyse durch einen isländischen Spath wie ein Stral, dem man die unvollständige geradlinige Polarisation ertheilt hat; 2) er giebt, wenn er vor der Analyse durch den isländischen Spath durch ein Fraueneisblättchen gegangen ist, zwei farbige Bilder von Complementärfarben, die aber von denen, welche das circulär polarisirte und welche das geradlinig polarisirte Licht hervorbringt, abweichen; 3) wenn man den durch eine einmalige Reflexion von Metall elliptisch polarisirten Stral neue Reflexionen von Metall machen läßt, so erlangt er nach einmaliger oder mehrmaliger Reflexion unter gehörigen Einfallswinkeln die geradlinige Polarisation wieder.

Die Reflexion an der Oberfläche von Metallen scheint sich also insofern der totalen innern Reflexion in durchsichtigen Körpern ähnlich zu verhalten, indeß findet bei der Reflexion von Metallen manches Eigenthümliche, u. a. der Umstand Statt, der mir wenigstens nach Fresnel's Theorie nicht bei der totalen innern Reflexion scheint Statt finden zu können, daß die Ebene der wiederhergestellten Polarisation bei der Reflexion durch Metalle nicht senkrecht ist auf die Ebene der ursprünglichen Polarisation, sondern einen kleinern Winkel damit bildet **).

Dies macht eine gesonderte Betrachtung der elliptischen Polarisation auf Metallen nöthig, die ich, unabhängig von anderweiten Betrachtungen, nach Brewster's Versuchen im Folgenden geben werde.

Der Kürze halber werden wir uns im Nachstehenden folgender Ausdrücke bedienen: Wir sagen, ein im gewöhnlich polarisirten Zustande auf eine Metallplatte einfallender Stral sei + 45° polarisirt, wenn seine Polarisationsebene einen Winkel von 45° mit der Reflexionsebene auf dieser Platte, und zwar nach rechts von derselben, macht; dagegen nennen wir

*) Wobei jedoch bemerkt werden muß, daß, wenn die Umstände des Einfalls den angegebenen Ausnahmefällen nahe kommen, die Abweichung von der geradlinigen Polarisation so klein sein kann, daß sie, wenn man nicht sehr starkes Licht anwendet, für einmalige Reflexion unmerklich erscheint.

**) Successive totale innere Reflexionen ändern nämlich nur den Phasenunterschied der beiden partiellen, parallel und senkrecht gegen die Reflexionsebene polarisirten Bündel, in die sich der reflectirte Stral zerlegen läßt, aber nicht ihre relative Intensität, welche dieselbe ist, wenn der Phasenunterschied 180° geworden ist, d. h. Wiederherstellung der geradlinigen Polarisation eingetreten, als wenn er 0° war, d. h. bei der anfänglichen Polarisation. Sollte bei dem Phasenunterschiede 180° der partiellen Bündel der Stral nicht senkrecht gegen die bei dem Phasenunterschiede 0° Statt findende Richtung der Polarisation polarisirt sein, so müßte sich zugleich die relative Intensität beider partiellen Bündel geändert haben. — Vielleicht dürfte sich die Modification eines durch Metalle elliptisch polarisirten Strales auf die Interferenz eines Theiles Licht, auf den die Metallfläche nach Art der zweiten Oberfläche durchsichtiger Körper wirkt, mit einem andern Theile Licht, auf den sie wie die erste Oberfläche durchsichtiger Körper wirkt, erklären lassen; mindestens gäbe diese Annahme eine Erklärung der Ablenkung der wiedergestellten Polarisation von der auf die urspüngliche senkrechten Richtung.

ihn — 45° polarisirt, wenn seine Polarisationsebene einen Winkel von 45° nach links von der Reflexionsebene macht; und dieselbe Bezeichnung werden wir auf andere Winkel übertragen. Wenn wir daher z. B. sagen, die Polarisation eines Strales sei durch Zurückwerfung von einer Platte aus + 45° in — 45° übergegangen, so wird dies heißen, daß die Ebene der zweiten Polarisation senkrecht auf der ersten steht, und daß die Zurückwerfungsebene den Winkel beider Ebenen halbirt; sagten wir, die Polarisationsebene sei aus + 45° in — 17° übergegangen, so hieße dies, daß die Polarisationsebene nach der Zurückwerfung einen Winkel von 17° links mit der Zurückwerfungsebene bildet, während sie vorher einen Winkel von 45° rechts mit derselben machte, u. s. f.

Unter Neigung eines Strales werden wir stets diesen positiven oder negativen Winkel verstehen, den die Ebene seiner ursprünglichen oder seiner wiederhergestellten Polarisation mit der ersten Reflexionsebene, d. i. der Ebene der Reflexion auf der Platte, auf welche der ursprünglich polarisirte Stral auffiel, macht. (Neigung ist mithin nicht mit Einfallswinkel zu verwechseln.) Unter Azimuth einer Zurückwerfungsebene oder einer Platte werden wir dagegen den Winkel verstehen, den die Zurückwerfungsebene des Strales auf einer zweiten oder folgenden Platte mit der Zurückwerfungsebene auf der ersten Platte macht.

Also sowohl Neigung als Azimuth sind stets auf den Winkelabstand von der ersten Reflexionsebene auf dem Metalle zu beziehen, und zwar bedienen wir uns ersten Wortes bloß für den Winkelabstand der Polarisationsebene, des letztern für den Winkelabstand einer spätern Zurückwerfungsebene gegen die erste Zurückwerfungsebene *).

Unter Wiederherstellung eines elliptisch polarisirten Strales verstehen wir seine Zurückführung auf den geradlinig polarisirten Zustand und unter Wiederherstellungswinkel den Einfallswinkel, unter welchem sie auf der Platte erfolgt, welche die Wiederherstellung bewirkt.

Endlich mag ein- und für allemal erinnert werden, daß der Stral vor seinem Einfall auf die erste Metallplatte jedesmal durch irgend ein Mittel schon mit vollständig geradliniger Polarisation begabt vorausgesetzt wird, indem von der Wirkung der Metallplatten auf gewöhnliches Licht erst im nächsten Artikel die Rede sein wird.

### a) Über den Wiederherstellungswinkel.

1) Das Maximum der elliptischen Polarisation (d. i. die größte Abweichung von der geradlinigen und die größte Annäherung an die

*) Im Original wird Azimuth bald für den Winkel der Polarisationsebene, bald für den der zweiten Zurückwerfungsebene gegen die erste gebraucht, was leicht Verwirrung hervorbringt. Für die, welche die nachfolgende Darstellung mit der Originalabhandlung vergleichen wollen, bemerke ich daher, daß die Ausdrücke Azimuth und Neigung, wie ich sie gebraucht habe, eben weil ich beständig bei derselben Bedeutung geblieben bin, nicht immer mit der in der Originalabhandlung coincidiren.

kreisförmige Polarisation) wird durch eine einmalige Reflexion von einer Metallplatte dann erlangt, wenn der einfallende Stral + 45° oder + 135° oder — 45° oder — 135° polarisirt ist, und der Einfall bei dem Polarisationswinkel *) des Metalles (also auf Stahl bei 75°, auf Silber bei 73°) geschieht. Bei Einfallswinkeln, die sich 0° oder 90° nähern, ist die elliptische Polarisation fast unmerklich, und es wird hier bloß die, auch auf durchsichtigen Körpern Statt findende, Drehung der Polarisationsebene wahrgenommen, welche vom Einfallswinkel und dem Brechungsverhältniß des Metalles abhängt und durch Formel (8) S. 246 bestimmt wird.

Es fange z. B. eine Stahlplatte einen um 45° polarisirten Lichtstral von gewöhnlicher Stärke auf. Bei den Incidenzen 89°, 88°, 87° erleidet dieser kaum eine wahrnehmbare (wiewohl an sich unstreitig in geringem Grade Statt findende) Abweichung von der gewöhnlichen Polarisation, bloß findet man, daß die Polarisationsebene sich um einen gewissen Winkel nach der Einfallsebene zu gedreht hat, wie es auch bei einem durchsichtigen Körper der Fall gewesen sein würde. In gleicher Weise wird bei allen Einfallswinkeln von 0° bis etwa 40° keine deutlich wahrnehmbare Abweichung vom gewöhnlichen Polarisationszustande hervorgebracht, ausgenommen die Drehung der Polarisationsebene. Bei Winkeln kleiner als 87° beginnt die elliptische Polarisation wahrnehmbar zu werden; sie erreicht ihr Maximum bei 75° und nimmt bis zu 40° allmälig ab **).

2) Wenn der Stral, der durch Zurückwerfung unter den vorhin angegebenen Umständen (ursprüngliche Polarisation bei 45° oder 135° und Einfall beim Polarisationswinkel) das Maximum der elliptischen Polarisation erlangt hat, unter demselben Einfallswinkel (dem Polarisationswinkel) von einer zweiten Platte desselben Metalles zurückgeworfen wird, so zeigt er sich nach der Zurückwerfung in geradlinig polarisirten Zustand wiederhergestellt, wofern das Azimuth der zweiten Zurückwerfungsebene 0° oder 90° ist, d. h. wofern die zweite Zurückwerfungsebene parallel oder senkrecht gegen die erste ist ***).

Ist dagegen das Azimuth der zweiten Zurückwerfungsebene ein anderes als 0° oder 90°, so wird ein größerer oder kleinerer Einfallswinkel hiezu erfodert. So fand sich für einen ursprünglich + 45° polarisirten

*) Die Polarisationswinkel für die verschiedenen Metalle sind S. 102 angegeben worden. Über Bestimmung derselben s. den folgenden Artikel.

**) Daß auch bei sehr kleinen und sehr großen Einfallswinkeln wirklich eine Modification vom Lichtstral erfahren wird, wenn sie sich auch wegen ihrer Geringfügigkeit nicht beobachten läßt, giebt sich dadurch zu erkennen, daß Wiederholung der Reflexion unter diesen Winkeln den Erfolg deutlicher macht, wie in den weiter folgenden Sätzen erörtert werden wird.

***) Die Neigung der wiederhergestellten Polarisation (immer gegen die erste Zurückwerfungsebene betrachtet) ist eine andere, als die ursprüngliche. Die diese Neigungsänderung betreffenden Sätze werde ich erst anführen, nachdem die, welche den Wiederherstellungswinkel betreffen, mitgetheilt worden sind.

Stral bei Stahl, wenn das Azimuth der zweiten Zurückwerfungsebene 0° war, der Wiederherstellungswinkel 75°, welcher dem Polarisationswinkel und zugleich Einfallswinkel auf der ersten Platte gleich ist; war dagegen das Azimuth der zweiten Zurückwerfungsebene + 45° (also parallel der ursprünglichen Polarisationsebene), so war der Wiederherstellungswinkel 80° und war es — 45° (senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisationsebene), so war er 70°*), und für die zwischenliegenden Azimuthe fanden Zwischengrade Statt.

3) Auch für jede andere Neigung der ursprünglichen Polarisation als 45° oder 135°, und jeden andern Einfallswinkel auf der ersten Platte als dem Polarisationswinkel giebt es einen Einfallswinkel auf der zweiten Platte, wo Wiederherstellung des von der ersten Platte reflectirten Strales in geradlinig polarisirten Zustand erfolgt. Dieser Wiederherstellungswinkel ändert sich mit dem Azimuth der zweiten Zurückwerfungsebene gegen die erste, mit der Neigung der ursprünglichen Polarisation und dem Einfallswinkel auf der ersten Platte.

4) Wenn der Stral ursprünglich in einer Neigung 45° oder 135° polarisirt ist und zugleich die zweite Zurückwerfungsebene der ersten parallel ist, so entspricht jedem Einfallswinkel auf der ersten Platte oberhalb des Polarisationswinkels (d. h. der grösser als der Polarisationswinkel ist) ein Wiederherstellungswinkel auf der zweiten Platte unterhalb des Polarisationswinkels und umgekehrt. So z. B. wenn ein + 45° polarisirter Stral bei 76° 33′ Incidenz von einer Silberplatte (für die der Polarisationswinkel 73° ist) zurückgeworfen worden ist, so wird eine Zurückwerfung in derselben Ebene von einer zweiten Silberplatte unter dem Winkel 68° 59′ ihn wiederherstellen, und umgekehrt, wenn der Einfall auf der ersten Platte 68° 59′ war, wird der Wiederherstellungswinkel auf der zweiten Platte 76° 33′ sein, eine Reciprocität, die unter den hier vorausgesetzten Umständen stets Statt findet. Wir wollen diese sich entsprechenden Winkel oberhalb und unterhalb des Polarisationswinkels **Winkel gleicher Phase** nennen.

Die Winkel gleicher Phase sind stets durch die Beziehung mit einander verbunden, daß sie, wenn man ihren Werth successiv für i in nachfolgenden Ausdruck substituirt, denselben Werth für tang $\varphi$ finden lassen.

$$\tang \varphi = \frac{\cos (i + i')}{\cos (i - i')} \qquad (1)$$

In dieser Formel ist i′ der zu dem jedesmaligen Werthe von i gehörige Brechungswinkel des Metalles, welcher nach dem bekannten Brechungsverhältnisse desselben **) berechnet werden muß. Bestätigungen dieser Beziehung findet man unter Beleg 1).

*) Diese Angabe findet sich in Pogg. XXI. S. 237; dagegen in der Tabelle Pogg. Seite 241 (oder Beleg 2) statt 80° und 70° respectiv 78° und 68° angegeben ist.

**) Das Brechungsverhältniß für die verschiedenen Metalle läßt sich wie bei

5) Im Fall der Stral, + 45° polarisirt, unter dem Polarisationswinkel einfällt, und man läßt das Azimuth der zweiten Reflexionsebene sich von 0° an bis 360° drehen, so ändert sich der Wiederherstellungswinkel auf folgende Weise. In den positiven Azimuths 0°, 90°, 180° und 270° ist er dem Polarisationswinkel gleich, wie schon S. 309 angegeben. Im Azimuth + 45° und + 225°, d. h. wenn die zweite Reflexionsebene der ursprünglichen Polarisationsebene parallel geworden ist, findet ein Maximum des Wiederherstellungswinkels Statt (welches sonach größer als der Polarisationswinkel ist); in den darauf senkrechten Azimuths aber (135° und 315°) ein Minimum (welches kleiner als der Polarisationswinkel ist), und in den Zwischenlagen finden Zwischenwerthe Statt. Die unter Beleg 1) beigefügte Tabelle kann zur nähern Erläuterung hievon dienen.

Man kann übrigens unter den vorausgesetzten Umständen (ursprüngliche Neigung des Strales 45° und Einfall beim Polarisationswinkel) den Wiederherstellungswinkel für jedes Azimuth der zweiten Zurückwerfungsebene nach der sogleich mitzutheilenden Formel berechnen, wenn man durch directe Beobachtung die Wiederherstellungswinkel für die beiden Fälle bestimmt hat: a) wenn die Reflexionsebene der zweiten Platte um 45°, b) wenn sie um 135° oder, was dasselbe ist, um — 45° von der Reflexionsebene der ersten Platte gedreht ist*).

Es sei gegeben:

a das Complement (Ergänzung zu 90°) des Wiederherstellungswinkels für den Fall, daß das Azimuth der zweiten Zurückwerfungsebene — 45°,

b für den Fall, wenn es + 45° ist (also a das Complement des Minimums, b das des Maximums);

$\varphi$ sei das Azimuth der zweiten Reflexionsebene, für welches der Wiederherstellungswinkel unter den oben angegebenen Umständen gesucht wird; endlich

x das Complement des gesuchten Wiederherstellungswinkels.

Man hat nach Brewster**):

$$x = \frac{a\,b}{\sqrt{a^2 \cos^2 (\varphi - 45^\circ) + b^2 \sin^2 (\varphi - 45^\circ)}} \qquad (2)$$

durchsichtigen Körpern aus dem Winkel des Polarisationsmaximum berechnen und seine Werthe für die verschiedenen Metalle sind S. 102 angegeben worden.

*) Doch braucht man auch nach Brewster nur die Bestimmung für einen dieser Fälle vorgenommen zu haben, wofern man zugleich die Neigung der wiederhergestellten Polarisation auf der zweiten Platte für den Fall paralleler Zurückwerfungsebenen (also bei Stahl 17°, bei Silber 39° 48′) kennt. Die hiebei geltende Beziehung wird unter Satz 14) angegeben werden.

**) Die folgende Formel ist bloß eine Transformation der Brewster'schen, deshalb von mir gewählt, um x gleich als Function von $\varphi$ ausdrücken zu können.

Als Beleg für diese, übrigens gleich den anderen nur empirisch hergeleitete, Formel theilt Brewster die unter Beleg 2) angeführte Versuchstabelle für Stahl mit.

Es verdient Bemerkung, daß in der Formel (2) x geometrisch als der Radius vector einer Ellipse vorgestellt werden kann, von welcher a die große, b die kleine Halbaxe, erstere im Azimuth 45° links, letztere im Azimuth 45° rechts von der ersten Reflexionsebene liegend, ist *). Für Stahl ergab sich die große Halbaxe durch directe Beobachtung = 22°, die kleine = 12°. Für Silber sind beide Axen fast gleich, so daß sich die Ellipse einem Kreise sehr nähert, d. h., daß bei abgeänderten Winkel der Reflexionsebenen gegen einander sich doch der Wiederherstellungswinkel auf der zweiten Platte nur sehr wenig ändert.

6) Wenn ein ursprünglich + 45° polarisirter Stral unter einem andern Winkel als dem Polarisationswinkel auf die erste Platte auffällt, so hat man nach 4) als zugehörigen Wiederherstellungswinkel auf der zweiten Platte den Winkel gleicher Phase zur andern Seite des Polarisationswinkels, doch nur für den Fall, daß die Zurückwerfungsebene auf der zweiten Platte mit der auf der ersten coincidirt. Ist dagegen die zweite Zurückwerfungsebene senkrecht auf der ersten, so ist der Wiederherstellungswinkel auf der zweiten Platte jedenfalls dem Einfallswinkel auf der ersten Platte gleich.

Läßt man endlich das Azimuth alle Grade von 0° bis 360° durchlaufen, so ändert sich auch (während der Einfallswinkel auf der ersten Platte

*) Im Original (Pogg. XXI. 221) steht: Die große Axe liege rechts, die kleine links von der ersten Reflexionsebene; allein wenn der Stral, wie hier angenommen ist, mit der Neigung + 45°, d. h. rechts von der ersten Reflexionsebene polarisirt, einfällt, so muß das oben angegebene umgekehrte Verhältniß Statt finden, da, wie unter Satz 2) angegeben wurde, der Wiederherstellungswinkel größer (mithin sein Complement kleiner) in dem Falle ist, wo die zweite Zurückwerfungsebene der ursprünglichen Polarisationsebene parallel, als wenn sie senkrecht darauf ist. Mit anderen Worten, die Angabe unter Satz 2) zeigt deutlich, daß die kleine Axe der obigen geometrischen Construction der Complemente auf dieselbe Seite von der Reflexionsebene als die ursprüngliche Polarisationsebene fallen muß, wie auch dies aus der unter Beleg 2) angeführten Tabelle hervorgeht, vorausgesetzt, wie nach anderen Stellen anzunehmen ist, daß die Azimuthe von der ersten Reflexionsebene von Brewster nach rechts gezählt werden. — Auch bei folgendem Satze habe ich in Rücksicht des unter Satz 2) angeführten Datums, daß Brewster deutlich genug ausgesprochen hat, das Minimum der Complemente nach rechts, das Maximum nach links für die Voraussetzung des ursprünglich rechts polarisirten Strales verlegt, ungeachtet Brewster's Ausdrücke hier wieder das Gegentheil anzudeuten scheinen. Ich muß indeß gestehen, daß die gränzenlose Verwirrung, die mir hier in Brewster's Darstellung obzuwalten scheint, mir doch einigen Zweifel läßt, ob ich hiebei das Richtige getroffen habe; denn es ist mir auf keine Weise gelungen, seine Ausdrücke und zugleich seine gegebenen Data in Harmonie mit einander zu bringen. Man mag es daher noch für problematisch ansehen, ob nicht in Satz 5) und 8) die Ausdrücke links und rechts vielleicht vertauscht werden müssen.

unverändert bleibt) der zugehörige Wiederherstellungswinkel, und schreitet dabei zweimal durch ein Maximum und zweimal durch ein Minimum, deren Lagen auch rechtwinklich auf einander sind, aber nicht wie unter 5) in die Azimuths + 45°, 135°, 225° und 315°, sondern dazwischen fallen. Ist nämlich der Einfallswinkel größer als der Polarisationswinkel, so fällt das Azimuth des Maximum zwischen das Azimuth + 45° und die erste Reflexionsebene, ist er kleiner, so fällt es zwischen das Azimuth + 45° und 90° (jedenfalls also auf dieselbe Seite von der Reflexionsebene als die ursprüngliche Polarisationsebene) *), so daß für die Gränzfälle 90 und 0° Incidenz das Azimuth des Maximums respectiv parallel oder senkrecht der ersten Reflexionsebene wird.

Versuche zur Erläuterung hierüber findet man im Beleg 3), wo jedoch Acht zu haben ist, daß nicht die Wiederherstellungswinkel selbst, sondern ihre Complemente mitgetheilt sind, von denen das Maximum dem Minimum des Wiederherstellungwinkels entspricht.

Man kann erfahrungsmäßig für jeden gegebenen Einfallswinkel auf der ersten Platte das Azimuth, in welchem der Widerherstellungswinkel ein Maximum ist, nach folgender Methode bestimmen.

Man stellt die zweite Platte zuerst im Azimuth Null unter solchem Winkel gegen den von der ersten Platte unter dem gegebenen Winkel zurückgeworfenen Stral, daß er zwei bis drei Grad größer ist als der Wiederherstellungswinkel im Azimuth 0°, mithin einige Grade größer als der Winkel gleicher Phase mit dem Einfallswinkel (auf der ersten Platte), und dreht darauf die zweite Platte, während der Einfallswinkel auf ihr unverändert bleibt, um den Stral in alle Azimuthe von 0° bis 90° des rechts **) von der ersten Zurückwerfungsebene liegenden Quadranten. Man wird solchergestalt in zwei Azimuths gelangen, wo eine vollständige Wiederherstellung der Polarisation in geradlinigen Zustand erfolgt. Das Azimuth, welches in der Mitte zwischen diesen beiden Azimuths liegt oder ihren Winkel mitten durchtheilt, wird das Azimuth des Maximums sein, womit dann zugleich die um 90° links davon abliegende Lage des Minimums gegeben ist.

Hat man solchergestalt für den betreffenden Einfallswinkel auf der ersten Platte die Lage oder das Azimuth des Maximums und Minimums des Wiederherstellungswinkels und mithin auch ihrer Complemente gefunden, so hat man alle Data, die erfoderlich sind, um die Wiederherstellungswinkel (bei demselben Einfallswinkel) für alle beliebige Azimuths durch eine analoge Gleichung zu bestimmen, als im vorigen Satze für den besondern Fall, wo der Einfall auf der ersten Platte unter dem Polarisationswinkel geschah, gegeben wurde. Durch das Azimuth des Maximums und Mini-

*) Ich beziehe mich jedoch hiebei auf die Anmerkung zum vorigen Satze.

**) Vorausgesetzt, daß der auf der ersten Platte einfallende Stral + 45° polarisirt war.

mums der Widerherstellungswinkel ist nämlich zugleich das Azimuth des Maximums und Minimums ihrer Complemente oder der Axen der Ellipse, welche die Gleichung vorstellt, gegeben, und außerdem sind noch vier Puncte der Ellipse durch folgende Bestimmungen bekannt: Der Radius vector der Ellipse in dem Azimuthe 90° und 270° ist immer das Complement zum gegebenen Einfallswinkel auf der ersten Platte und der Radius vector in dem Azimuthe 0° und 180° das Complement des Winkels von gleicher Phase mit diesem Einfallswinkel, der durch Satz 4) bestimmt ist. Hienach lassen sich die Axen und die ganze Gleichung der Ellipse, welche die geometrische Construction der Complemente der Wiederherstellungswinkel ist, leicht nach den bekannten Regeln der analytischen Geometrie finden.

7) Wenn der unter dem Polarisationswinkel auf die erste Platte einfallende Stral ursprünglich unter andern Winkeln als + 45° polarisirt ist, so bleiben die Wiederherstellungswinkel für die Azimuths 0°, 90°, 180° und 270° der zweiten Reflexionsebene zwar dieselben, als bei der Polarisirung + 45°, aber in allen Zwischenazimuths (positiven sowohl als negativen) nehmen die Wiederherstellungswinkel ab, während die Neigung der ursprünglichen Polarisationsebene gegen die erste Zurückwerfungsebene sich von 45° bis 0° ändert, und nehmen zu, während diese Neigung sich von 45° bis 90° ändert.

Für den Fall, daß der Winkelabstand beider Reflexionsebenen = 45° ist, hat Brewster (Pogg. XXI. 248) eine Formel gegeben, um den Wiederherstellungswinkel für jede Neigung der ursprünglichen Polarisationsebene gegen die erste Zurückwerfungsebene zu berechnen, wenn man ihn für den Werth dieser Neigung bei 45° kennt; nebst einer hinzugefügten Versuchstabelle. Allein auch hier findet im Original nothwendig eine Verwirrung der Bezeichnungen Statt.

8) Wenn ein ursprünglich + 45° polarisirter Stral unter dem Polarisationswinkel wiederholt von parallelen Platten zurückgeworfen wird, so nimmt er abwechselnd die elliptische Polarisation (im Maximum) und die gewöhnliche Polarisation an. Auch wenn die Platten nicht parallel sind, und der Einfall ein anderer als beim Polarisationswinkel ist, wird dies der Fall sein, wofern man nur alle Incidenzen, welche für die paaren Zahlen von Zurückwerfungen gelten, so einrichtet, daß sie unter den Wiederherstellungswinkeln geschehen, welche den Incidenzen für die unpaaren Zahlen von Zurückwerfungen entsprechen.

9) Wenn ein, ursprünglich + 45° polarisirter Stral unter anderen Winkeln als dem Polarisationswinkel von parallelen Platten zurückgeworfen wird, so reicht eine einzige Zurückwerfung nicht hin, ihn bis zum Maximum der elliptischen Polarisation zu bringen, und die zweite Zurückwerfung stellt ihn nicht in geradlinigen Zustand wieder her, vielmehr trägt jede neue Reflexion dazu bei, seine elliptische Polarisation zu vermehren, bis er wirklich zum Maximum gelangt ist. Setzt man dann die Reflexionen von parallelen Platten noch weiter fort, so wird er durch jede jetzt hinzu-

kommende Reflexion wieder der geradlinigen Polarisation mehr genähert, bis er nach eben so viel Reflexionen, als erfoderlich gewesen waren, ihn zum Maximum der ellpitischen Polarisation zu bringen, wieder zum geradlinig polarisirten Zustand hergestellt ist.

So reichen bei Stahl drei successive Zurückwerfungen in derselben Ebene unter einem Winkel von 85° 45′ oder von 51° 24′ hin, das Maximum der elliptischen Polarisation hervorzurufen, worauf er nach den folgenden drei Zurückwerfungen unter demselben Winkel wieder zur gewöhnlichen Polarisation zurückgekehrt sein wird; nach drei abermaligen Zurückwerfungen unter 85° 45′ (oder 51° 24′) wird er wieder elliptisch polarisirt sein u. s. f.

Allgemein, wenn ein Stral nach einer gewissen Anzahl Zurückwerfungen in derselben Ebene unter einem gewissen constanten Einfallswinkel i wieder in den geradlinig polarisirten Zustand zurückgeführt ist, so hat man anzunehmen, daß er nach der Hälfte dieser Zurückwerfungen das Maximum der elliptischen Polarisation gehabt habe, da dies in allen Fällen wirklich Statt findet, wo es sich beobachten läßt. Nun beobachtet man aber auch, daß bei manchen Einfallswinkeln die Wiederherstellung nach 3, nach 5 oder überhaupt einer ungeraden Anzahl von Reflexionen Statt hat, und in diesen Fällen muß man sich sonach denken, daß das Maximum der elliptischen Polarisation nach $1\frac{1}{2}$, nach $2\frac{1}{2}$ u. s. f. Reflexionen erfolgt sei, d. h. daß es in der Mitte einer Reflexion Statt gefunden habe, so daß nach Beendigung dieser Reflexion der Stral schon angefangen hat, zur geradlinigen Polarisation zurückzukehren.

Man wird selbst durch den Zusammenhang der Erscheinungen genöthigt, anzunehmen, daß die elliptische Polarisation bei manchen Einfallswinkeln anstatt in der Mitte, vielmehr in irgend einem Bruchtheile einer Reflexion zu Stande komme; allein dieser Fall wird sich in der Erscheinung immer auf einen der beiden vorigen reduciren.

Gesetzt z. B. es gäbe einen Einfallswinkel, für den das Maximum der elliptischen Polarisation nach $1\frac{1}{4}$ Zurückwerfungen erfolgt wäre, so würde die Zurückführung nach $2\frac{3}{4}$ Zurückwerfungen Statt finden, mithin hier nicht beobachtet werden können, weil der Stral nach der dritten Zurückwerfung schon wieder zum Theil elliptisch polarisirt ist. Allein nach noch $1\frac{1}{4}$ Zurückwerfung mehr, mithin im Ganzen nach 4 Zurückwerfungen, wird der Stral jetzt wieder zum Maximum elliptisch polarisirt sein, und nach den nächsten 4 Zurückwerfungen wird man nun seine Zurückführung in geradlinig polarisirten Zustand wirklich beobachten können, nachdem er vorher bei $5\frac{1}{4}$ Zurückwerfung noch eine Zurückführung erlitten hat, die sich aber, weil sie in eine Bruchzahl fiel, wieder nicht beobachten ließ.

10)*) Wenn man das Brechungsverhältniß des Metalles kennt, mit dem man zu thun hat, so läßt sich nach der gleich anzuführenden Formel

*) Dieser ganze Satz mit seinen Formeln und Belegen ist in der Brewster'schen Originalabhandlung so unklar dargestellt, daß man alle Mühe hat, den

für den, mit der ursprünglichen Neigung 45° einfallenden, Stral berechnen, wie viel Zurückwerfungen auf parallelen Platten unter einem beliebigen Einfallswinkel i erfoderlich sind, den Stral bis zum Maximum der elliptischen Polarisation zu bringen, und wie viel mithin auch erfoderlich sind (nämlich doppelt so viel), um ihn wiederherzustellen.

Man findet hiebei, daß jedesmal zwei Einfallswinkel, einer oberhalb und einer unterhalb des Polarisationswinkels, in der Zahl der erfoderlichen Zurückwerfungen übereinkommen, und daß dies dieselben sind, die wir S. 310 mit dem Namen Winkel gleicher Phase bezeichnet haben, indem sie durch dieselbe Beziehung mit einander verknüpft werden.

Die Formel selbst ist folgende:

Es ist gegeben der Einfallswinkel i, der zugehörige Brechungswinkel i′, und es wird gesucht die kleinste Zahl n Zurückwerfungen*) unter dem

rechten Sinn herauszufinden. Für die, welche die Originalabhandlung vergleichen wollen, will ich in diesem Bezuge bemerken, daß das, was in Pogg. XXI. 227 ff. Phase P genannt ist, eigentlich Phasenunterschied heißen sollte, nämlich Phasenunterschied der beiden senkrecht auf einander polarisirten Stralen, durch deren Interferenz der elliptisch polarisirte entstehend gedacht wird; wenn dieser Phasenunterschied P 180° oder ein Vielfaches davon wird, so ist der Stral nach den Interferenzgesetzen zur geradlinigen Polarisation zurückgekehrt. Ferner ist zu bemerken, daß in der Tabelle ebend. S. 238 die Zahlen in der ersten Columne, welche ein $\frac{1}{2}$ bei sich führen, nicht genau sind, indem z. B. statt $2\frac{1}{2}$ stehen müßte $2\frac{2}{5}$ (durch Division von 12 mit 5 erhalten); ferner $1\frac{1}{3}$ statt $1\frac{1}{2}$. Was Brewster'n zu dieser, auch in der Tabelle S. 237 Statt findenden, Ungenauigkeit veranlaßt hat, vermag ich nicht zu enträthseln. Zu bemerken ist auch, daß S. 238 Z. 1 statt 45°, welches ein Druckfehler ist, zu lesen ist 90. Endlich muß man sich hüten, unter dem, was Brewster (Pogg. XXI. 238) $\varphi$ oder Neigung der Polarisationsebene nennt, nicht etwa die Neigung der wiederhergestellten Polarisation gegen die Zurückwerfungsebene zu verstehen, was leicht geschehen kann, da Brewster $\varphi$ früher (S. 230 ff.) zur Bezeichnung hievon braucht; es ist vielmehr die Neigung darunter verstanden, in welche sich auf durchsichtigen Flächen nach der S. 246 gegebenen Formel die Polarisationsebene eines + 45° gegen die Einfallsebene polarisirten Strales nach der Zurückwerfung stellt, wenn die Incidenz unter verschiedenen Einfallswinkeln i (in der zweiten und dritten Columne der Tabelle auf S. 238) stellt. Daß übrigens die Regel zur Berechnung der Zahl n, wie ich sie dargestellt habe, wirklich richtig von mir aufgefaßt worden ist, ergiebt sich daraus, daß die Zahlen der Tabelle in Pogg. S. 259 und 260, die ich zum Schluß dieses Artikels mittheilen werde, wirklich richtig danach wiedergefunden werden. — Die Darstellung in der Originalabhandlung wird noch dadurch unklarer, daß Brewster S. 238 eine Berechnung nach der Formel

$$\tang \varphi = \frac{\cos (i + i')}{\cos (i - i')}$$

giebt, aber erst S. 273 zeigt, wie das Brechungsverhältniß und mithin der Brechungswinkel i′ bei Metallen zu bestimmen sei, so daß man dort noch nicht weiß, woher er die Basis zur Berechnung nimmt.

*) Diese Zahl wird für die meisten Einfallswinkel einen Bruch mit sich führen, d. h. das Maximum der elliptischen Polarisation wird innerhalb einer Zurückwerfung selbst fallen und nicht beobachtet werden können. Durch hinlängliche

Winkel i, nach welcher der Stral das Maximum der elliptischen Polarisation erlangt hat, oder die Zahl 2n, nach welcher er vollständig zur geradlinigen Polarisation zurückgekehrt ist; man hat:

$$n = \frac{45^\circ}{45^\circ - \varphi} \qquad (5)$$

worin $\varphi$ durch folgende Formel bestimmt wird:

$$\tang \varphi = \frac{\cos (i + i')}{\cos (i - i')} \qquad (6)$$

Für die Richtigkeit dieser Formel theilt Brewster (Pogg. XXI. 237) eine Versuchstabelle mit, die ich nicht mit aufnehme, da jedenfalls eine Ungenauigkeit der Berechnung darin vorhanden ist. Jedenfalls zeigt diese Tabelle, daß wirklich für jede Anzahl zur Wiederherstellung erfoderlicher Zurückwerfungen ein Einfallswinkel oberhalb und einer unterhalb des Polarisationsmaximums vorhanden ist, und daß diese Winkel beziehungsweise der obigen Formel Genüge leisten.

Brewster hat auch für Silber nach obiger Formel ausgedehnte Tabellen berechnet, welche die den verschiedenen Einfallswinkeln entsprechenden Zahlen 2n enthalten, die erfoderlich sind, daß der Stral wieder in den geradlinig polarisirten Zustand zurückkehre. Diese Tabellen werden wir zum Schluß dieses Artikels vor den Belegen anführen*).

11). Eine Folgerung der beiden vorigen Sätze ist, daß, je größer die Anzahl Zurückwerfungen des ursprünglich 45° polarisirten Strales von parallelen Platten ist, die man Statt finden läßt, um so mehr wird es Einfallswinkel geben, welche der Bedingung der Wiederherstellung der Polarisation nach dieser Anzahl Zurückwerfungen Genüge leisten. So wird z. B. für den Fall von 6 Reflexionen die Wiederherstellung erfolgen können: 1) bei den zwei Einfallswinkeln gleicher Phase, die 6 Reflexionen zugehören, und die für Silber nach Aussage der zum Schluß beigefügten Tabellen 48° 38′ und 85° 6′ sein würden; 2) bei zwei Einfallswinkeln, welche mit den Winkeln gleicher Phase für die Hälfte von 6, d. i. für 3 Reflexionen übereinstimmen, mithin nach Aussage der Tabelle bei Silber 63° 43′ und 79° 40′; endlich 3) bei einem Einfallswinkel, welcher mit dem für das Drittheil von 6, d. i. für 2 Reflexionen geltenden übereinstimmt, d. i. beim Polarisationswinkel.

Mittelst einer graphischen Darstellung, welche Brewster gegeben hat, kann man die hiebei Statt findenden Verhältnisse leicht überschaulich machen. In Fig. 85. ist eine solche bis zu 6 Reflexionen von Silber ge-

Vervielfachung der Zahl n wird man immer auf eine ganze Zahl kommen, oder sich wenigstens einer solchen genügend nähern können, und dies wird dann die Zahl Zurückwerfungen sein, nach welcher sich die elliptische Polarisation am zurückgeworfenen Strale wirklich beobachten läßt.

*) Man sieht, daß Tabelle I. unter Voraussetzung des Polarisationswinkels = 71°, Tabelle II. aber unter Voraussetzung dieses Winkels = 73° berechnet ist. Warum dies Brewster gethan hat, kann ich nicht einsehen.

geben. Der Bogen I,I gilt für eine einmalige, der Bogen II,II für eine zweimalige Reflexion u. s. f. Die (zum Theil ihrem Werthe nach beigezeichneten) Winkelabstände der Knotenpuncte von der Axe A C dienen zur Bezeichnung der Einfallswinkel, unter welchen die Wiederherstellung (durch die Anzahl Reflexionen, für welche der Bogen gilt) erfolgen kann. So zeigen die zwei Knotenpuncte, welche sich im Bogen III,III befinden *), an, daß für den Fall dreier Reflexionen die Wiederherstellung unter 2 verschiedenen Winkeln erfolgen kann, nämlich dem Winkel a A III und dem Winkel b A III. Die dicksten Stellen der Bogen dienen eben so zur Bezeichnung der Maxima der elliptischen Polarisation, als die Knotenpuncte zur Bezeichnung der Minima oder der Wiederherstellungen, so daß man also durch die Winkelabstände jener dicksten Stellen von A C ebenfalls die Einfallswinkel, unter welchen sie erfolgen, bestimmen kann. Überhaupt wird man, um zu wissen, in welchem Zustande sich ein Stral nach einer gegebenen Anzahl Reflexionen unter einem gewissen Winkel befindet, bloß nöthig haben, einen Radius von A aus an denjenigen Punct des für diese Anzahl Reflexionen geltenden Bogens zu ziehen, welcher sich in einem, dem Einfallswinkel gleichen, Winkelabstande von A C befindet, und zu sehen, wo er in den Bogen einschneidet; je dicker die Stelle ist, wo dies geschieht, um so mehr wird sich der Stral dem Maximum, je dünner sie ist, um so mehr dem Minimum der elliptischen Polarisation oder der Wiederherstellung zur geradlinigen Polarisation nähern.

12) Der Polarisationswinkel, so wie der zugehörige Wiederherstellungswinkel, ist für die verschiedenen Farbenstralen verschieden, und daher, wenn schlechthin davon gesprochen wird, auf die mittleren Farbenstralen zu beziehen. So fand Brewster, indem er unter den Umständen, wo der Wiederherstellungswinkel auf der zweiten Platte dem Einfallswinkel auf der ersten Platte gleich ist, Versuche mit homogenem Lichte anstellte, bei Silber einen Winkelunterschied von 5° für rothes und blaues Licht, so daß, wenn der Polarisationswinkel oder Wiederherstellungswinkel 73° für den mittlern gelben Stral ist, er für die blauen 70°½ und für die rothen 75°¾ sein wird **).

*) Wenn wir die für 0° und 90° Incidenz Statt findenden nicht berücksichtigen.

**) Es findet hiebei eine merkwürdige und noch unerklärte Anomalie Statt. Alles läßt schließen, daß man nach dem Polarisationswinkel für die mittleren Stralen auf Metallen auch das mittlere Brechungsverhältniß der Metalle mittelst der bekannten Beziehung berechnen kann, da das so abgeleitete Brechungsverhältniß in der Formel S. 246 zur Ableitung des Winkels r aus i angewandt, die Drehung der Polarisationsebene eines einfallenden Strales unter Winkeln, wo die elliptische Polarisation noch nicht sehr merklich ist (vgl. S. [illegible]), richtig angiebt, wie dies wenigstens Brewster (Pogg. XXI. [illegible]) behauptet. Aus dem Umstande nun aber, daß der Polarisationswinkel auf Metallen für rothe Stralen größer als für blaue ist, folgt, daß Metalle stärker brechend auf rothes Licht als auf blaues wirken, entgegen dem, was in durchsichtigen Körpern geschieht. (Nach den obigen Datis berechnet, würden die Brechungsverhältnisse in Silber sein [illegible] für rothes, 2,271 für gelbes, 2,681 für blaues Licht.)

b) Von der Neigung der wiederhergestellten Polarisation.

13) Wenn ein unter irgend einem Winkel und mit irgend einer ursprünglichen Neigung auf die erste Platte einfallender, Stral durch Zurückwerfung von einer zweiten, der ersten parallelen, Platte wiederhergestellt worden ist, so macht die Richtung der wiederhergestellten Polarisation mit der Reflexionsebene einen Winkel, der kleiner ist, als die Neigung der ursprünglichen Polarisation und auf die andere Seite der Reflexionsebene fällt. War z. B. die Neigung der ursprünglichen Polarisation + 45°, so wird die Neigung der wiederhergestellten Polarisation negativ und dem Werthe nach kleiner als 45° sein. Bloß für die Gränzfälle der ursprünglichen Neigung, 0° und 90°, so wie für die Incidenzen 0° und 90° ist die negative Neigung der wiederhergestellten Polarisation der positiven Neigung der ursprünglichen Polarisation gleich.

14) Wenn der Stral unter dem Polarisationswinkel mit der Neigung + 45° auf die erste Platte einfällt, so hat die negative Neigung seiner Polarisationsebene nach der Zurückwerfung von der zweiten der ersten parallelen Platte für die verschiedenen Metalle folgende Werthe.

| Namen der Metalle | Neigung der wiederhergestellten Polarisation *) gegen die Reflexionsebene. | |
|---|---|---|
| Reines Silber | 39° | 48′ |
| Gemeines Silber | 36 | 0 |
| Feines Gold | 35 | 0 |
| Juwelier-Gold | 33 | 0 |
| Kornzinn | 33 | 0 |
| Messing | 32 | 0 |
| Weißblech (Tin plate) | 31 | 0 |
| Kupfer | 29 | 0 |
| Quecksilber | 26 | 0 |
| Platin | 22 | 0 |
| Wismuth | 21 | 0 |
| Spiegelmetall | 21 | 0 |
| Zink | 19 | 10 |
| Stahl | 17 | 0 |
| Eisenkies | 14 | 0 |
| Antimon | 16 | 15 |
| Speiskobalt | 13 | 0 |
| Glanzkobalt | 12 | 30 |
| Blei | 11 | 0 |
| Bleiglanz | 2 | 0 |
| Spiegeleisen | 0 | 0 |

Übrigens behauptet Brewster (Pogg. XXI. sich gefunden zu haben, daß auch die Circulärpolarisation für die blauen Stralen durch zweimalige totale Reflexion in Fresnel's Parallelepiped bei geringeren Einfallswinkeln als für die rothen Stralen eintrete.

*) Er ist überall mit dem Vorzeichen — zu nehmen.

Es verdient Bemerkung, daß diese Anordnung die umgekehrte von dem Polarisationsvermögen der Metalle auf gewöhnliches Licht ist, indem z. B. Silber die mindeste Annäherung des unter dem Polarisationswinkel einfallenden natürlichen Lichtes an den Zustand der geradlinigen Polarisation zu bewirken vermag, Blei und Bleiglanz eine sehr starke. (Vergl. den folgenden Artikel).

Wenn man das Maximum und Minimum des Wiederherstellungswinkels kennt, welche bei Drehung des Azimuth der zweiten Zurückwerfungsebene (nach Satz 6) für die hier betrachteten Umstände (Neigung der ursprünglichen Polarisation 45° und Einfall unter dem Polarisationswinkel auf der ersten Platte) Statt finden, so kann man daraus den Neigungswinkel der wiederhergestellten Polarisation nach folgender Beziehung berechnen:

$$\sin 2\beta = \frac{b}{a} \qquad (7)$$

Hierin ist $\beta$ die Neigung der wiederhergestellten Polarisation für die betrachteten Umstände, b das Complement des Maximums, a das Complement des Minimums des Wiederherstellungswinkels.

So ward $\beta$ nach obiger Tabelle $= 17°$, mithin $2\beta = 34°$ gefunden. Dies giebt $\sin 2\beta = 0{,}559$. Das direct gemessene Verhältniß von $\frac{b}{a}$ war 0,555.

Beim Silber, wo $\beta = 39° \, 48'$, ist $\sin 2\beta = 0{,}9835$. In der That ergab sich hier der direct bestimmte Werth von $\frac{b}{a}$ fast $= 1$.

Übrigens ist auch diese Beziehung, gleich den übrigen in dieser Arbeit mitgetheilten, nur empirisch und von Brewster bloß durch diese beiden, allerdings sehr gut damit übereinstimmenden, Beispiele bewährt worden, da er für andere Metalle das Verhältniß von $\frac{b}{a}$ nicht direct gemessen hat.

15) Wenn die Neigung der ursprünglichen Polarisation nicht + 45° (oder überhaupt keine derer, bei welchen das Maximum der elliptischen Polarisation unter dem Polarisationswinkel erfolgt) ist, so ist, bei Voraussetzung übrigens derselben Umstände als unter 14), nämlich Einfall beim Polarisationswinkel und Zurückwerfung von parallelen Platten, die Neigung der wiederhergestellten Polarisation eine andere, als unter 14) angegeben, indem, wenn die ursprüngliche Neigung sich von + 45° nach 90° hin dreht, die Neigung der wiederhergestellten Polarisation sich nach entgegengesetzter Richtung, z. B. bei Silber von — 39° 48′ nach — 90° hin dreht, und wenn die ursprüngliche Neigung von + 45° nach 0° hin geht, auch die Neigung der wiederhergestellten Polarisation von — 39° 48′ nach 0° hingehen wird. Man übersieht dies am besten aus der unter Beleg 4) beigefügten Tabelle.

Kennt man übrigens durch directe Beobachtung die Neigung der wiederhergestellten Polarisation für die ursprüngliche Neigung + 45°, so kann man daraus nach Brewster die Neigung der wiederhergestellten Polarisation für jede andere urspr. Neigung mittelst folgender Formel berechnen. Es sei a die Neigung der ursprünglichen Polarisation, für welche die Neigung der wiederhergestellten Polarisation (unter den hier vorausgesetzten Umständen) gesucht wird; $\beta$ der durch directe Beobachtung gefundene oder aus der Tabelle S. 319 entnommene Werth der Neigung der wiederhergestellten Polarisation für den Fall der ursprünglichen Neigung = 45°; endlich $\gamma$ die gesuchte (negative) Neigung der wiederhergestellten Polarisation, welche für die ursprüngliche Neigung = a Statt findet. Man hat:

$$\tang \gamma = \tang \beta \tang a. \qquad (8)$$

Für die Richtigkeit dieser Formel führt Brewster die unter Beleg 5) mitgetheilte Tabelle an, worin freilich die Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Winkeln zum Theil mehrere Grade betragen.

16) Wenn ein ursprünglich + 45° polarisirter Stral unter dem Polarisationswinkel wiederholt von parallelen Platten zurückgeworfen wird, und dadurch nach Satz 8) abwechselnd das Maximum der elliptischen Polarisation und die gewöhnliche Polarisation annimmt, so wird die Neigung der wiederhergestellten Polarisation nach jeder neuen geraden Zurückwerfung (also der zweiten, vierten, sechsten u. s. f.) 0° immer näher kommen, und nach einer gewissen Anzahl Zurückwerfungen diese Gränze (zwar nie absolut aber doch) merklich erreicht haben.

Dieser Satz ist eigentlich nur eine Folgerung aus dem vorigen. Da nämlich die Neigung der wiederhergestellten Polarisation stets kleiner ist, als die Neigung der ursprünglichen Polarisation, so wird, wenn nach den ersten zwei Zurückwerfungen sich die Neigung z. B. von + 45° auf — 17° reducirte (wie bei Stahl), sie nach den folgenden zwei Zurückwerfungen, für deren Beginnen nun — 17° als ursprüngliche Neigung betrachtet werden kann, sich von — 17° auf einen noch kleinern Winkel (bei Stahl + 5° 22′) reduciren müssen, u. s. f.; auch erhellt hieraus, daß, je tiefer die Metalle in der S. 319 angegebenen Reihe stehen, nach einer um so kleinern Anzahl von paaren Zurückwerfungen wird der Stral merklich in der Zurückwerfungsebene polarisirt sein, wie man dies in der That beim Vergleiche der unter Beleg 6) für Stahl und Silber angeführten Versuche finden wird.

Kennt man übrigens durch directe Beobachtung oder aus der Tabelle S. 319 den Werth der Neigung nach der ersten paaren Zahl von Zurückwerfungen, so kann man ihn nach Brewster nach jeder beliebigen Anzahl Zurückwerfungen (unter immer denselben Umständen) nach folgender Formel finden, wo $\beta$ die Neigung der, nach den ersten zwei Zurückwerfungen wiederhergestellten, Polarisation, $\gamma$ die gesuchte Neigung nach 2n Zurückwerfungen ist.

$$\tang \gamma = \tang^n \beta \qquad (9)$$

In Bezug auf diese Formel vergl. Beleg 5).

17) Wenn ein ursprünglich + 45° polarisirter Stral unter anderen Einfallswinkeln als dem Polarisationswinkel auf die erste Platte auffällt, so reicht, wie in Satz 9) angeführt worden ist, eine zweite Zurückwerfung an einer gleichbeschaffenen der ersten parallelen Platte nicht hin, ihn wiederherzustellen, wohl aber mehrere. In diesem Falle ist die Neigung der wiederhergestellten Polarisation eine andere, als bei dem Einfall unter dem Polarisationswinkel oder bei Wiederherstellung durch zweimalige Zurückwerfung. Kennt man jedoch durch directe Beobachtung oder durch Berechnung nach Formel (5) und (6) die Zahl Zurückwerfungen, welche hinreichend ist, den Stral für den gegebenen Einfallswinkel auf den parallelen Platten zum Maximum zu polarisiren und mithin die doppelte, welche fähig ist, ihn wiederherzustellen, so läßt sich die Neigung der wiederhergestellten Polarisation aus der Kenntniß dieser Zahl für jeden Einfallswinkel nach folgender, von Brewster aufgestellten, Formel berechnen.

Es sei $\beta$ der durch die Tabelle S. 219 für jedes Metall als gegeben zu betrachtende Werth der Neigung nach zweimaliger Zurückwerfung unter den vorausgesetzten Umständen, $2n$ die Zahl Zurückwerfungen, für welche die Neigung der wiederhergestellten Polarisation gesucht wird, $\beta'$ diese gesuchte Neigung, so hat man:

$$\mathrm{tang}\,\beta' = \frac{\mathrm{tang}\,\beta + \mathrm{tang}^{n}\,\beta}{2} \qquad (10)$$

So wird man, um auf Stahl für den Einfallswinkel 85° 45′ die Neigung der wiederhergestellten Polarisation nach der zur Zurückwerfung erfoderlichen Zahl Zurückwerfungen zu finden, zu setzen haben $2n = 6$; da nach S. 315 die drei ersten Zurückwerfungen unter 85° 45′ auf Stahl den Stral vollständig polarisiren, die drei nächsten ihn wieder vollständig zur geradlinigen Polarisation zurückführen; ferner hat man hier, zufolge S. 319, $\beta$ zu setzen = 17°. Solchergestalt ergiebt sich $\beta' = 9°\,30'$.

Zur Bestätigung vorstehender Formel theilt Brewster die unter Beleg 6) angeführten Versuche mit.

Die vorige Formel gilt nur für den Fall, wo die Zurückführung zur geradlinigen Polarisation durch eine ganze paare Zahl ($2n$) von Zurückwerfungen erfolgt. Erfolgt sie durch eine unpaare oder gebrochene Zahl $\nu$, so wird zufolge Brewster die Bestimmung nach einer andern Formel vorgenommen. Man bestimmt in diesem Falle zuerst den Werth $\beta'$ für die nächst höhere gerade Zahl*) $2n$ nach der vorherigen Formel, und hat dann, wenn $\beta''$ die gesuchte Neigung der wiederhergestellten Polarisation nach $n$ Zurückwerfungen ist und $\beta$ die vorige Bedeutung hat:

$$\mathrm{tang}\,\beta'' = \mathrm{tang}\,\beta\,\frac{2}{-}\,\nu + \frac{\mathrm{tang}\,\beta - \mathrm{tang}\,\beta'}{n-1} \qquad (11)$$

*) Also z. B. für $2n = 4$, wenn die unpaare oder gebrochene Zahl $\nu = 3$ oder $= 3\frac{1}{3}$ u. s. f. ist.

Brewster selbst bemerkt, daß die letzte Formel (11) zwar auch auf eine gerade Anzahl Reflexionen angewandt werden kann, aber hier nicht genau dieselben Resultate wie Formel (10) giebt (wiewohl der Unterschied wenigstens bei den von Brewster angeführten Fällen in die Beobachtungsfehler fällt). Zur Bestätigung der Formel (11) werden übrigens von Brewster die unter Beleg 7) mitgetheilten Versuche angeführt.

Kennt man durch Versuche oder durch Formel (10) oder (11) die Neigung $\beta'$ oder $\beta''$ der wiederhergestellten Polarisation für die kleinste Zahl von Zurückwerfungen, welche diese Wiederherstellung zu bewirken vermag, so kann man dann die Neigung $\gamma'$ nach $n$maliger Wiederholung dieser Anzahl Zurückwerfungen (unter demselben Winkel) nach der folgenden Formel bestimmen:

$$\tan \gamma' = \tan^n \beta' \qquad (12)$$

welche, wie man sieht, mit Formel (9) in der Form übereinstimmt. Belege für diese Formel im jetzigen Falle werden von Brewster nicht mitgetheilt.

18) Wenn ein + 45° polarisirter Stral unter einem gewissen Winkel oberhalb oder unterhalb des Polarisationswinkels auf der ersten Platte eingefallen und durch Zurückwerfung in derselben Ebene von einer zweiten Platte unter dem Winkel gleicher Phase wiederhergestellt worden ist, so läßt sich die Neigung der wiederhergestellten Polarisation nach der Kenntniß des Einfallswinkels und der Kenntniß der Neigung, welche für den Fall des Einfalls unter dem Polarisationswinkel Statt findet, nach einer Formel berechnen, welche Brewster angegeben hat, die aber durch Druckfehler so entstellt ist, daß ich ihre richtige Form nicht anzugeben weiß. Ich will daher bloß die zum Belege derselben von Brewster mitgetheilte Versuchstabelle nebst den nach der Formel berechneten Werthen anführen:

| Reflexionen bei Winkeln gleicher Phase. | | Neigung der nach der zweiten Reflexion wiederhergestellten Polarisation. | |
|---|---|---|---|
| erste Reflexion bei | zweite Reflexion bei | beobachtet | berechnet |
| 90° | 0° | 45 | 45° 0′ |
| 87½ | 41 | — | 30 0 |
| 85 | 54 | 26 | 26 5 |
| 80 | 68 | 19 | 20 8 |
| 77 | 72 | 18 | 17 2 |
| 75 | 75 | 17 | 17 0 |

19) Wenn zwei parallele Metallplatten, welche zwei successive Zurückwerfungen an dem ursprünglich + 45° polarisirten Strale bewirken, von verschiedener Materie sind, und man läßt diese Reflexionen auf beiden unter dem Einfallswinkel erfolgen, welcher der mittlere ihrer beiderseitigen Polarisationswinkel ist, so wird auch die Neigung der wiederher-

*) Pogg. XXI. 240; Philos. transact. p. 302.

gestellten Polarisation die mittlere zwischen den Neigungen sein, die Statt gefunden hätten, wenn beide Platten bloß aus dem einen oder bloß aus dem andern Metalle bestanden hätten.

So war, als die eine Platte von Stahl, die andere von Silber war, bei dem mittlern Winkel des Polarisationsmaximum 74° die Neigung der Ebene des zur gewöhnlichen Polarisation wiederhergestellten Strales 28° 30′, welches das Mittel von 39° 48′ und 17′ ist (vergl. Tabelle S. 319). Durch vier Reflexionen bei 74° wurde die Neigung auf 14° reducirt.

### c) Combination von Versuchen über Circularpolarisation mit denen über elliptische Polarisation.

20) Eine Circularpolarisation, wie sie durch eine oder mehrere innere totale Reflexionen (unter gehörigen Verhältnissen) von Glas hervorgebracht wird, kann immer durch eine oder mehrere Reflexionen von Metallen auf die geradlinige Polarisation zurückgeführt werden, vorausgesetzt, daß die letzteren sämmtlich bei Winkeln unterhalb des Polarisationswinkels geschehen und die Ebenen beider Klassen von Reflexionen einander parallel liegen. Die Neigung der wiederhergestellten Polarisation gegen die Zurückwerfungsebene liegt dann mitten inne zwischen — 45° und zwischen der Neigung, welche Statt gefunden haben würde, wenn der Stral, anstatt circular, elliptisch polarisirt gewesen wäre.

So wurde ein ursprünglich + 45° gegen die Einfallsebene polarisirter Stral, nachdem er durch zwei innere totale Reflexionen in Glas bei 54°½ Incidenz die circulare Polarisation erlangt hatte, durch eine Reflexion von Stahl in derselben Einfallsebene unter gehörigem Einfallswinkel wieder zur geradlinigen Polarisation zurückgeführt, und die Neigung der Polarisationsebene des wieder geradlinig polarisirten Strales gegen die Zurückwerfungsebene betrug — 30°½, das arithmetische Mittel zwischen — 45° und — 17°, welches letztere der Werth ist, der Statt gefunden hätte, wenn der Stral anstatt circular polarisirt durch innere Reflexionen, vielmehr elliptisch polarisirt durch eine erste Stahlplatte eingefallen wäre. — Mit Silber betrug die Neigung der wiederhergestellten Polarisation — 42°½.

21) Fängt man den durch innere Reflexionen circular polarisirten Stral durch eine Metallplatte so auf, daß die Reflexionsebene auf der Platte nicht parallel der Ebene der inneren Reflexionen, sondern unter andere Azimuths dagegen gestellt ist, so findet man bei dem Azimuth 90°, daß die Circularpolarisation durch eine Reflexion von Metall oberhalb 80° Incidenz compensirt (zur geradlinigen Polarisation zurückgeführt) wird. Verringert man dies Azimuth allmälig bis 0°, so nimmt der Wiederherstellungswinkel auch ab; bei Stahl geht er durch 75° und er vermindert sich bis zu einer Zahl, die abhängig ist von dem Einfallswinkel, bei welchem die totale Reflexion bewerkstelligt wurde *). Hierüber behält sich Brewster noch ausführlichere Untersuchungen vor.

*) Dies verstehe ich nicht recht, da die circulare Polarisation bei zwei Re-

Tabellen über die elliptische Polarisation auf Silber.

Die nachfolgenden Tabellen sind nach der Formel 6) S. 317 berechnet. In der Tabelle ganze Multipla sind die Zahlen von Zurückwerfungen angegeben, nach denen sich die Wiederherstellung wirklich beobachten läßt, da sie nach den in der ersten Spalte angegebenen Reflexionen (außer bei den wenigen ganzen Zahlen) in einen Bruchtheil der Reflexion selbst fällt, so daß nach vollendeter Reflexion der Stral schon wieder einen Anfang von elliptischer Polarisation erlitten hat. Das Zeichen — und + bei den Zahlen deutet an, ob die wiederhergestellte Polarisation sich links oder rechts von der Reflexionsebene befindet, wobei vorausgesetzt ist, daß die anfängliche Polarisationsebene des Strales rechts von der Einfallsebene lag. Diese Zeichen sollen mithin nicht eine Positivität oder Negativität der Zahlen selbst, bei denen sie stehen, andeuten.

flexionen in Glas stets nur unter demselben Einfallswinkel erfolgen kann, und wenn sie auch durch mehrere Reflexionen unter anderen Winkeln bewerkstelligt wird, der circulär polarisirte Stral identisch ist mit dem durch zwei Reflexionen circulär polarisirten. F.

**Tabelle**

Anzahl der Reflexionen von Silber, bei welcher elliptisch polarisirtes entsprechenden Einfallswinkeln und der Lage der wiederherge-

(Für Winkel kleiner als der

| Anzahl 2n der Reflexionen. | Ganze Multipla. | Wiederherstellungswinkel i. |
|---|---|---|
| — 2 | + 4 — 6 + 8 — 10 + 12 — 14 + 16 — 18 + 20 | 71° 0′ |
| $2\frac{1}{9}$ | + 19 | 71 42 |
| $2\frac{1}{8}$ | + 17 | 71 32 |
| $2\frac{1}{7}$ | + 15 | 71 23 |
| $2\frac{1}{6}$ | — 13 | 71 8 |
| $2\frac{1}{5}$ | + 11 | 70 48 |
| $2\frac{2}{9}$ | — 20 | 70 34 |
| $2\frac{2}{8}$ | — 9 + 18 | 70 17 |
| $2\frac{2}{7}$ | — 16 | 69 53 |
| $2\frac{2}{6}$ | + 7 + 14 | 69 29 |
| $2\frac{3}{8}$ | — 19 | 69 8 |
| $2\frac{2}{5}$ | — 12 | 68 59 |
| $2\frac{3}{7}$ | — 17 | 68 38 |
| $2\frac{1}{2}$ | — 5 + 10 — 15 + 20 | 67 54 |
| $2\frac{4}{7}$ | — 18 | 67 14 |
| $2\frac{3}{5}$ | + 13 | 66 58 |
| $2\frac{2}{3}$ | — 8 + 16 | 66 25 |
| $2\frac{5}{7}$ | + 19 | 66 0 |
| $2\frac{3}{4}$ | — 11 | 65 45 |
| $2\frac{4}{5}$ | — 14 | 65 23 |
| $2\frac{5}{6}$ | + 17 | 65 9 |
| $2\frac{6}{7}$ | — 20 | 65 0 |
| + 3 | + 6 + 9 + 12 + 15 + 18 | 63 43 |
| $3\frac{1}{6}$ | — 19 | 62 29 |
| $3\frac{1}{5}$ | — 16 | 62 15 |
| $3\frac{1}{4}$ | — 13 | 61 55 |
| $3\frac{1}{3}$ | — 10 | 61 20 |
| $3\frac{2}{5}$ | — 17 | 60 53 |
| $3\frac{1}{2}$ | — 7 + 14 | 60 15 |
| $3\frac{3}{5}$ | — 18 | 59 38 |
| $3\frac{2}{3}$ | + 11 | 59 13 |
| $3\frac{3}{4}$ | — 15 | 58 42 |

I.

Licht zu geradlinig polarisirtem wieder hergestellt wird, nebst den
stellten Polarisationsebene in Bezug auf die Reflexionsebene.

des Polarisationsmaximums).

| Anzahl 2n der Reflexionen. | Ganze Multipla. | Wiederherstellungswinkel i. |
|---|---|---|
| 3⅘ | + 19 | 58° 15′ |
| — 4 | + 8 — 12 + 16 — 20 | 57 16 |
| 4¼ | + 17 | 55 54 |
| 4⅓ | + 13 | 55 29 |
| 4½ | — 9 + 18 | 54 42 |
| 4⅔ | — 14 | 53 54 |
| 4¾ | — 19 | 53 31 |
| + 5 | + 10 + 15 + 20 | 52 27 |
| 5⅓ | — 16 | 51 5 |
| 5½ | — 11 | 50 27 |
| 5⅔ | — 17 | 49 49 |
| — 6 | + 12 — 18 | 48 38 |
| 6⅓ | + 19 | 47 23 |
| 6½ | — 13 | 46 57 |
| 6⅔ | — 20 | 46 32 |
| + 7 | + 14 | 45 35 |
| 7½ | — 15 | 44 13 |
| — 8 | + 16 | 43 0 |
| 8½ | + 17 | 41 52 |
| + 9 | + 18 | 40 51 |
| 9½ | — 19 | 39 51 |
| — 10 | + 20 | 39 0 |
| + 11 | | 37 15 |
| — 12 | | 35 50 |
| + 13 | | 34 33 |
| — 14 | | 32 30 |
| + 15 | | 32 15 |
| — 16 | | 31 17 |
| + 17 | | 30 30 |
| — 18 | | 29 42 |
| + 19 | | 28 56 |
| — 20 | | 28 10 |

Tabelle

Anzahl der Reflexionen von Silber, bei welcher elliptisch polarisirtes
entsprechenden Einfallswinkeln und der Lage der wiederherge-

(Für Winkel kleiner als der

| Anzahl $2n$ der Reflexionen. | Ganze Multipla. | Wiederherstellungswinkel i. |
|---|---|---|
| — 2 | + 4 — 6 + 8 — 10 + 12 — 14 + 16 — 18 — 20 | 73° 0′ |
| $2\frac{1}{9}$ | — 19 | 74 9 |
| $2\frac{1}{8}$ | + 17 | 74 18 |
| $2\frac{1}{7}$ | — 15 | 74 28 |
| $2\frac{1}{6}$ | + 13 | 74 44 |
| $2\frac{1}{5}$ | — 11 | 75 0 |
| $2\frac{2}{9}$ | — 20 | 75 12 |
| $2\frac{1}{4}$ | + 9 + 18 | 75 26 |
| $2\frac{2}{7}$ | — 16 | 75 43 |
| $2\frac{1}{3}$ | — 7 + 14 | 76 2 |
| $2\frac{3}{8}$ | + 19 | 76 19 |
| $2\frac{2}{5}$ | — 12 | 76 33 |
| $2\frac{3}{7}$ | + 17 | 76 44 |
| $2\frac{1}{2}$ | + 5 + 10 + 15 + 20 | 77 13 |
| $2\frac{4}{7}$ | — 18 | 77 38 |
| $2\frac{3}{5}$ | — 13 | 77 48 |
| $2\frac{2}{3}$ | — 8 + 16 | 78 38 |
| $2\frac{5}{7}$ | — 19 | 78 23 |
| $2\frac{3}{4}$ | + 11 | 78 33 |
| $2\frac{4}{5}$ | — 14 | 78 47 |
| $2\frac{5}{6}$ | + 17 | 78 57 |
| $2\frac{6}{7}$ | — 20 | 79 4 |
| — 3 | + 6 — 9 + 12 — 15 + 18 | 79 40 |
| $3\frac{1}{6}$ | + 19 | 80 37 |
| $3\frac{1}{5}$ | — 16 | 80 24 |
| $3\frac{1}{4}$ | + 13 | 80 34 |
| $3\frac{1}{3}$ | — 10 + 20 | 80 50 |
| $3\frac{2}{5}$ | — 17 | 81 2 |
| $3\frac{1}{2}$ | + 7 + 14 | 81 19 |
| $3\frac{3}{5}$ | — 18 | 81 35 |
| $3\frac{2}{3}$ | — 11 | 81 45 |
| $3\frac{3}{4}$ | + 15 | 81 57 |

II.

Licht zu geradlinig polarisirtem wieder hergestellt wird, nebst den stellten Polarisationsebene in Bezug auf die Reflexionsebene, des Polarisationsmaximums).

| Anzahl 2 n der Reflexionen. | Ganze Multipla. | Wiederherstellungswinkel i. |
|---|---|---|
| $3\frac{4}{5}$ | — 19 | 82° 8′ |
| — 4 | + 8 — 12 + 16 — 20 | 82 30 |
| $4\frac{1}{4}$ | + 17 | 82 58 |
| $4\frac{1}{3}$ | — 13 | 83 16 |
| $4\frac{1}{2}$ | + 9 — 18 | 83 23 |
| $4\frac{2}{3}$ | — 14 | 83 38 |
| $4\frac{3}{4}$ | + 19 | 83 45 |
| — 5 | + 10 — 15 + 20 | 84 5 |
| $5\frac{1}{3}$ | — 16 | 84 27 |
| $5\frac{1}{2}$ | + 11 | 84 38 |
| $5\frac{2}{3}$ | — 17 | 84 48 |
| — 6 | + 12 — 18 | 85 6 |
| $6\frac{1}{3}$ | — 19 | 85 22 |
| $6\frac{1}{2}$ | + 13 | 85 30 |
| $6\frac{2}{3}$ | — 20 | 85 36 |
| — 7 | + 14 | 85 49 |
| $7\frac{1}{2}$ | + 15 | 86 7 |
| — 8 | + 16 | 86 21 |
| $8\frac{1}{2}$ | + 17 | 86 35 |
| — 9 | + 18 | 86 46 |
| $9\frac{1}{2}$ | + 19 | 86 56 |
| — 10 | + 20 | 87 5 |
| — 11 | | 87 20 |
| — 12 | | 87 35 |
| — 13 | | 87 46 |
| — 14 | | 87 56 |
| — 15 | | 88 4 |
| — 16 | | 88 11 |
| — 17 | | 88 18 |
| — 18 | | 88 24 |
| — 19 | | 88 28 |
| — 20 | | 88 33 |

Beleg 1). Die nachfolgende Versuchstabelle dient zur Bestätigung der für die Winkel von gleicher Phase Statt findenden Beziehung, welche durch Formel (1) S. 310 ausgedrückt wird. Die nachstehenden Einfallswinkel und zugehörigen Wiederherstellungswinkel sind durch directe Beobachtung gefunden. (Der Stral fiel mit einer Neigung von + 45° ein und das Azimuth der zweiten Reflexionsebene war null.) Je zwei zu einander gehörige Winkel gleicher Phase, successiv in Formel (1) substituirt, müßten denselben Werth für tang $\varphi$ und mithin für $\varphi$ finden lassen; die beigefügten berechneten Werthe von $\varphi$ zeigen, daß dies mit hinlänglicher Annäherung der Fall ist.

Stahl, von 3,732 Brechungsverhältniß.

| Winkel gleicher Phase nach der Beobachtung | | Berechneter Werth von $\varphi$ | |
|---|---|---|---|
| Einfallswinkel. | zugehöriger Wiederherstellungswinkel. | für den Einfallswinkel. | für den Wiederherstellungswinkel. |
| 87°½ | 41° | 36° 5′ | 36° 11′ |
| 85 | 54 | 27 28 | 28 0 |
| 80 | 68 | 12 12 | 12 36 |
| 77 | 72 | 5 24 | 5 59 |
| 75 | 75 | 0 0 | 0 0 |

Beleg 2). Nachstehende Versuchstabelle wird von Brewster zur Bestätigung der Formel (2) mitgetheilt. Der Stral war um + 45° polarisirt und fiel unter 75° (dem Polarisationswinkel) auf Stahl ein.

| Azimuth der zweiten Reflexionsebene (nach rechts von der ersten gerechnet). | Wiederherstellungswinkel. | Complement des Wiederherstellungswinkels | |
|---|---|---|---|
| | | beobachtet. | berechnet. |
| 0° und 180 | 75° | 15° | 14°,9 |
| 22½ — 202½ | 77 | 13 | 12 ,7 |
| 45 — 225 | 78 | 12 | 12 |
| 67½ — 247½ | 77¾ | 12¼ | 12 ,7 |
| 90 — 270 | 75 | 15 | 14 ,9 |
| 112½ — 292½ | 70 | 20 | 19 |
| 135 — 315 | 68 | 22 | 22 |
| 157½ — 337½ | 70 | 20 | 19 |
| 180 — 360 | 75 | 15 | 14 ,9 |

Beleg 3). Die folgenden Versuche gehören zu Satz 6). Sie wurden theils mit Stahl, theils mit Silber angestellt. Der Stral war + 45° polarisirt und wurde bei zwei verschiedenen Einfallswinkeln, nämlich 80° und 68°, deren einer oberhalb, der andere unterhalb des Polarisationswinkels liegt und welche für den Stahl Winkel merklich gleicher Phase sind, geprüft, wobei die zweite Zurückwerfungsebene alle Azimuths theils links, theils rechts von der ersten Zurückwerfungsebene durchlief.

Stahl. — Einfallswinkel auf der ersten Platte 80°.

| Azimuth links *). | Complement des Wiederherstellungswinkels. | Azimuth rechts. | Complement des Wiederherstellungswinkels. |
|---|---|---|---|
| 0° | 23° | 0° | 23° |
| 11¼ | 25 | 11¼ | 20 |
| 22½ | 26 | 22½ | 26⅓ |
| 33¾ | 24 | 33¾ | 13 |
| 45 | 20½ | 45 | 11½ |
| 56¼ | 18 | 56¼ | 10 |
| 67½ | 15⅓ | 67½ | 9½ |
| 78¾ | 11 | 78¾ | 9¾ |
| 90 | 10 | 90 | 10 |
| | Stahl. — Einfallswinkel 68°. | | |
| 0° | 11 | 0° | 11° |
| 11¼ | 24 | 11¼ | 10 |
| 22½ | 24½ | 22½ | 9 |
| 33¾ | 25½ | 33¾ | 9¾ |
| 45 | 26⅓ | 45 | 11½ |
| 56¼ | 25⅓ | 56¼ | 15 |
| 67½ | 20 | 67½ | 18 |
| 78¾ | 21 | 78¾ | 20 |
| 90 | 22 | 90 | 22 |

*) Zu bemerken ist, daß ich hier links und rechts in Bezug zu ihrem Gebrauch in der Originalabhandlung vertauscht habe, um sie mit der im Texte angegebenen Darstellung und dem Belege 2) übereinstimmend zu machen. Man möge indeß hiebei die S. 312 gegebene Anmerkung berücksichtigen.

Beleg 5). Zur Bestätigung der Formel (9) führt Brewster folgende Versuche an (bei anfänglicher Neigung + 45°).

Stahl ($\beta = 17°$).

| Zahl der Zurückwerfungen unter 75° Incidenz. | Zustand des zurückgeworfenen Lichtes. | Neigung $\gamma$ der Polarisationsebene beobachtet. | Neigung $\gamma$ der Polarisationsebene berechnet. |
|---|---|---|---|
| 1. | Elliptische Polarisation | . | . |
| 2. | Gewöhnliche Pol. | — 17° 0′ | — 17° |
| 3. | Elliptische Pol. | . | . |
| 4. | Gewöhnliche Pol. | + 5 10 | + 5 22′ |
| 5. | Elliptische Pol. | . | . |
| 6. | Gewöhnliche Pol. | — 2 0 | — 1 38 |
| 7. | Elliptische Pol. | . | . |
| 8. | Gewöhnliche Pol. | 0 0 | + 0 30 |
| 9. | Elliptische Pol. | . | . |
| 10. | Gewöhnliche Pol. | 0 0 | — 0 9 |
| 11. | Elliptische Pol. | . | . |
| 12. | Gewöhnliche Pol. | 0 0 | + 0 3 |

Silber ($\beta = 38° 15'$*).

| Zahl der Zurückwerfungen unter 73° Incidenz. | Zustand des zurückgeworfenen Lichtes. | Neigung $\gamma$ der Polarisationsebene beobachtet. | Neigung $\gamma$ der Polarisationsebene berechnet. |
|---|---|---|---|
| 1. | Elliptische Polarisation | . | . |
| 2. | Gewöhnliche Pol. | — 38° 15′ | — 38° 15′ |
| 3. | Elliptische Pol. | . | . |
| 4. | Gewöhnliche Pol. | + 31 15 | + 31 52 |
| 5. | Elliptische Pol. | . | . |
| 6. | Gewöhnliche Pol. | — 26 0 | — 26 6 |
| 12. | Gewöhnliche Pol. | | + 13 30 |
| 18. | Gewöhnliche Pol. | | — 6 42 |
| 36. | Gewöhnliche Pol. | | + 0 47 |

Beleg 6). Folgende Versuche werden von Brewster zur Bestätigung der Formel (10) mitgetheilt:

*) Dieser Werth weicht etwas von dem in der Tabelle S. 319 angegebenen Werthe ab. Wahrscheinlich war die Silberplatte von etwas anderer Beschaffenheit, was übrigens Brewster nicht anführt.

vorigen Artikel gesagt worden ist, auch auf einen natürlichen Stral anwenden, mit der Rücksicht, daß hier beide rechts und links von der Einfallsebene polarisirten partiellen Bündel immer gleichzeitig die dort angegebenen Modificationen erfahren, so daß die Beschaffenheit des resultirenden Strales die ist, wie sie aus der Vereinigung beider gleichzeitig modificirter Bündel hervorgehen muß.

Wenn also die Neigung beider, ursprünglich + 45° und — 45° gegen die Zurückwerfungsebene polarisirten, Bündel durch wiederholte Zurückwerfungen merklich null geworden ist, so wird auch der aus ihnen zusammengesetzte Stral merklich vollständig in der Einfallsebene polarisirt sein.

Es erhellt zugleich aus dieser Betrachtung, warum die Leichtigkeit, mit der die Metalle das Licht polarisiren, die umgekehrte von der ist, in welcher sie in der Tabelle S. 319 aufgeführt worden sind. Je größer nämlich die Verkleinerung des Neigungswinkels beider partiellen Bündel gegen die Zurückwerfungsebene und mithin auch gegen einander bei jeder Wiederherstellung ist, um so schneller muß die Annäherung an die Polarisation in der Einfallsebene erfolgen.

Die hier angegebene Vorstellung, sich den natürlich einfallenden und successive Zurückwerfungen von Metallplatten erfahrenden Stral als einen solchen zu denken, der aus zwei anfangs rechtwinklich auf einander geradlinig polarisirten gleichen Bündeln besteht, deren gegenseitige Neigung aber durch fortgesetzte Reflexionen immer mehr abnimmt, läßt sich begreiflicherweise nur auf diejenigen Reflexionen anwenden, in welchen wirklich Wiederherstellung zur geradlinigen Polarisation erfolgt, während man annehmen muß, daß in den dazwischenfallenden Reflexionen die beiden partiellen Bündel elliptisch polarisirt sind, und es fragte sich nun, was aus der Zusammensetzung zweier solcher elliptisch polarisirten Bündel hervorgehen muß. Diese Frage hat indeß Brewster nicht erörtert.

Für die Reflexionen, wo wirklich Wiederherstellung der elliptischen Polarisation zur geradlinigen bei den partiellen Bündeln erfolgt, kann man jedenfalls, wenn der Neigungswinkel beider partiellen Bündel nach den in Satz 16) ff. des vorigen Artikels gegebenen Regeln oder Formeln bekannt ist, dann die Quantität Licht berechnen, welche bei Analyse durch den isländischen Spath vollständig in der Einfallsebene polarisirt erscheint, indem man hiezu die Formel (26) S. 251 anwendet.

### Von den Erscheinungen complementärer Farben durch elliptische Polarisation auf Metallen.

Wie schon S. 318 erwähnt worden, sind der Polarisationswinkel und die davon abhängigen Wiederherstellungswinkel auf Metallen nicht für alle Farbenstralen dieselben, sondern der Polarisationswinkel ist größer für die rothen als die blauen Stralen, was dahin deutet, daß die blauen Stralen ein schwächeres Brechungsverhältniß als die rothen in Metallen haben. Alle die von dem Werthe dieser Winkel oder dem damit zusammmenhän-

genden Brechungsvermögen des Lichtes abhängigen Modificationen, welche die Metalle hervorzubringen vermögen, werden sich daher in ungleichem Grade auf die verschiedenen Farbenstralen äußern, und hiedurch können mannichfache Farbenerscheinungen hervorgerufen werden, von denen wir die einfachsten hier in der Kürze betrachten wollen, indem wir beispielweise Silber zu Grunde legen.

Wie S. 318 angeführt, ist der Polarisationswinkel für die mittleren gelben Stralen auf Silber 73°, für die blauen 70°½, für die rothen 75°½; wenn wir daher ein ursprünglich + 45° polarisirt einfallendes Bündel, nachdem es zweimal unter einem gegebenen Winkel (von parallelen Platten) reflectirt worden ist, mittelst eines Prisma aus isländischem Spath analysiren, indem wir den Hauptschnitt des Prisma jedesmal in die Lage drehen, wo das ungewöhnliche Bild ein Minimum ist, und zusehen, was für Farben darin zurückbleiben, so werden wir Folgendes finden müssen. Bei der Incidenz 70°½ verschwinden die blauen Stralen und die rothen bleiben zurück; bei 75°½ Incidenz verschwinden die rothen Stralen und das complementäre Blau wird sichtbar (immer im ungewöhnlichen Bilde), wogegen bei 73° Incidenz das Gelb verschwindet und Roth und Blau zusammen sichtbar werden. Bei Einfallswinkeln größer als 75°½ und kleiner als 70°½, und auch bei dazwischenliegenden Winkeln, wird das Blau oder das Roth in dem ungewöhnlichen Bündel vorherrschen, das Blau bei allen Winkeln größer als 73° und das Roth bei allen Winkeln kleiner als 73°. Und gerade so sind die Erscheinungen, wie aus folgender Tafel hervorgeht:

| Einfallswinkel bei den beiden Reflexionen. | Farbenerscheinungen bei einfallendem weißen Lichte. |
|---|---|
| 63° | Sehr blasses Gelb, bei geringeren Incidenzen weißer werdend. |
| 64 | Blasses Gelb. |
| 65 | Blasses Safrangelb. |
| 66 | Safrangelb. |
| 67 | Blässeres Orangegelb. |
| 68 | Orangegelb. |
| 69 | Röthliches Orange. |
| 70 | Ziegelroth. |
| 70½ | Zinnoberroth. |
| 71 | Scharlach. |
| 72 | Helles Nelkenroth. |
| 73 | Dunkles Nelkenroth. |
| 74 | Dunkles Chinablau. |
| 75 | Indigo. |
| 75½ | Reines Hellblau. |
| 76 | Blasseres Blau. |
| 77 | Weißliches Blau. |
| 78 | Bläuliches Weiß, bei großen Winkeln weiß werdend. |

Es wird dies hinreichen, zu zeigen, auf welches Princip die Entstehung der complementären Farben zurückzuführen ist, welche durch die elliptische Polarisation durch Metalle im analysirenden Prisma hervorgerufen werden. Eine ausführlichere Erörterung derselben findet sich noch von Brewster gegeben (Pogg. XXI. 267).

Es ist zur Entstehung der Farbenerscheinungen auf Metallen durch successive Reflexionen nicht wesentlich, daß das einfallende Licht schon ursprünglich polarisirt sei, indem es durch die Reflexionen selbst der Polarisation näher gebracht wird, daher auch schon natürlich einfallende Stralen bei Analyse durch den isländischen Spath nach mehrmaliger Zurückwerfung die, von der ungleichen Annäherung der verschiedenen Farbenstralen an den Polarisationszustand abhängigen, Farbenerscheinungen in mehrerm oder mindern Grade zeigen müssen. Eine theoretische Erörterung dieser Erscheinungen würde sich unstreitig aus dem Vorigen nach der Betrachtungsweise eines natürlichen Strales als aus zwei gleichen, + und — 45° gegen die Einfallsebene polarisirten Bündeln bestehend, ergeben; indeß ist Brewster nicht näher darauf eingegangen.

Unstreitig in (wiewohl noch nicht hinreichend erörtertem) Zusammenhange mit dem Vorigen stehen die Beobachtungen, welche neuerdings Nobili *) über die Farben gemacht hat, welche zum Vorschein kommen, wenn man Stralen mittelst des isländischen Spathes analysirt, die von Metallen reflectirt worden sind, welche dünne gefärbte Überzüge entweder durch sein elektrochemisches Verfahren (S. 11 u. 136) oder durch Erhitzung erhalten haben, ja selbst einige thierische Theile von metallartigen Farben sind fähig, analoge Erscheinungen hervorzubringen. Auch einige frühere Beobachtungen von Brewster und Arago, so wie einige neuere Versuche von Airy sind hieher zu ziehen, nur daß bei diesen sämmtlichen Erscheinungen unstreitig zugleich die Gesetze der Farbenerzeugung durch dünne Blättchen in Betracht kommen. In Ermangelung einer bis jetzt genügenden theoretischen Erörterung dieser Erfahrungen werde ich sie schlechthin nach einander mittheilen.

a) Versuche von Nobili.

Das allgemeine Resultat von Nobili's Versuchen ist, daß, wenn man Metallplatten, die nach dem von ihm angegebenen elektrochemischen Verfahren gefärbt sind, oder die einen dünnen farbigen Oxydüberzug durch Hitze erhalten haben, oder gewisse thierische Theile von metallisch glänzenden Farben unter sehr schiefen Einfallswinkeln durch einen Kalkspath betrachtet, so erfolgt eine Trennung des zurückgeworfenen Lichtes in zwei Bilder von sehr verschiedenen Farben, deren Vereinigung dieselbe Farbe geben würde, als der Körper zeigt, wenn man ihn ohne Hülfe des Kalkspathes bei derselben Schiefe betrachtet.

*) Bibl. univ. 1830. Nov. 239 oder Schweigg. LXIII. 207 oder im Auszuge Pogg. XXII. 614.

Nobili macht zugleich darauf aufmerksam, daß alle die Farben, welche diese Eigenthümlichkeit darbieten, zur Klasse der mit der Schiefe des Daraufsehens changirenden gehören, während die nicht changirenden eigenthümlichen Farben der Körper zufolge des von Arago bemerkten Umstandes, daß sie größtentheils senkrecht auf die Zurückwerfungsebene polarisirt sind, beim schiefen Daraufsehen durch einen Kalkspath den größten Theil des Colorits dem außerordentlichen Bilde mittheilen.

Folgendes sind die näheren Bestimmungen der von Nobili beobachteten Erscheinungen:

Verhalten der durch das elektrochemische Verfahren gefärbten Stahlplättchen *). 1) Die Beschaffenheit der Politur scheint die Erscheinungen nicht wesentlich abzuändern; zwar zeigt eine Spiegelpolitur schönere und bestimmtere Bilder, als eine weniger vollkommene Politur, aber das Gesetz der Erscheinung scheint in beiden Fällen das nämliche zu sein. Sobald man nur als Untergrund des farbigen Überzuges das Metall behält, so zeigen sich die Bilder auf dieselbe Art, mag man den Versuch in der Richtung der kleinen Risse auf der Oberfläche oder in der darauf senkrechten anstellen.

2) Die Trennung der Farben in beiden Bildern fängt nicht bei allen Farben der Scale bei demselben Neigungswinkel an. Die Reihe der hellblauen Farben Nr. 12., 13. und 14. (S. 136) zeichnet sich in dieser Hinsicht in hohem Grade aus, indem hier die Trennung der Farben weit früher erfolgt, als bei irgend einer andern Farbe. Im Allgemeinen ist die Trennung am vollständigsten bei Einfallswinkeln zwischen 75 und 85°.

3) Die Intensität der beiden gefärbten Bilder ist fast bei jeder Farbe der Scale verschieden; bald ist das ordentliche, bald das außerordentliche Bild am lebhaftesten gefärbt. Die ersten Farben der Scale, also diejenigen, welche dem ersten Ringe Newton's entsprechen, behalten fast alle ihre gewöhnliche Farbe im ordentlichen Bilde; dagegen in den letzten Farben, welche dem vierten Ringe entsprechen, hat das außerordentliche Bild die Farbe der Platte.

4) Der Metallgrund polarisirt die Farben der dünnen Blättchen nicht allein, sondern er ändert auch die Natur derselben, indem er ihre Zusammensetzung unter den gegebenen Umständen abändert, wahrscheinlich nicht sowohl, weil eine neue Farbe hiebei wirksam wird, als, weil die Polarisation einige von den schon vorhandenen Stralen aufhebt.

Dieser Umstand wird dadurch augenscheinlich, daß von dem Gesetze, nach dem sich die Farben dünner Blättchen mit der Schiefe des Daraufsehens ändern, bei mehreren Farben Abweichungen zeigen, wenn man zu sehr schiefen Einfallswinkeln übergeht, wie dies schon S. 139 erörtert wurde.

*) Der Polarisationswinkel der Stahlplättchen wurde, nach Arago's Verfahren von Nobili bestimmt, nahe an 75° gefunden, also übereinstimmend mit Brewster's für ungefärbten Stahl gegebenem Werth.

So zeigt das Gelb Nr. 18. der Scale, welches nach der Reihe der himmelblauen Farben 12., 13., 14. folgt, bei schief einfallenden Stralen nicht diese Farben, wie es nach dem Gesetze zeigen sollte, sondern geht in ein Roth über, dessen Stärke gleich der von Nr. 28. ist. Diese Abänderung ist als eine Wirkung der Polarisation, welche bei schiefen Einfallswinkeln eintritt, anzusehen, wie noch bestimmter dadurch erhellt, daß, wenn man die Platten mit einer Flüssigkeitsschicht überzieht, welche, wie unter 5) angeführt werden wird, die polarisirende Wirkung aufhebt, dann das Gesetz, nach welchem die Farbe mit dem Einfallswinkel sich ändern sollte, wieder rein hervortritt.

Alle Farben der Scale sind mehr oder weniger diesen Änderungen durch die Polarisation bei schiefen Einfallswinkeln unterworfen; am auffallendsten aber zeigen sich diese Änderungen bei den Centralfarben des zweiten Ringes an der Stelle, wo sich der eingeschobene Ring (S. 140) bildet.

Die Farben der Scale ändern sonach ihre Nuancen auf zwei völlig verschiedene Weisen; die eine, die ordentliche Änderung, hängt bloß von dem Einfallswinkel ab; die zweite, die außerordentliche, rührt von der Polarisation her, welche die Farbe von dem Metallgrunde erleidet, auf welchem sie angebracht ist. Die Bedeckung der Metallplatten mit einer flüssigen Schicht giebt ein Mittel ab, die erste Änderung unabhängig von der zweiten zu erhalten.

5) Überdeckt man die Farben der Scale mit einer Schicht Wasser, Alkohol, Öl rc., und beobachtet sie alsdann durch den Kalkspath, so sind alle von der Polarisation abhängigen Änderungen verschwunden; es findet keine Trennung der Farben mehr Statt, beide Bilder scheinen dieselbe Farbe zu haben und alles geht so vor sich, als wenn der polarisirende Untergrund nicht mehr vorhanden wäre. Gießt man ein wenig von diesen Flüssigkeiten auf die Stelle, wo sich der eingeschobene Ring befindet, so erscheint auch dieser nicht mehr. Eine dünne Firnißschicht, so wie überhaupt jede beliebige Schicht, mit welcher man die Oberfläche des Metalles bedeckt, ist von gleicher Wirkung.

Verhalten der durch das Feuer gefärbten Metalle. — Stahl. Betrachtet man eine violett angelaufene Uhrfeder unter schiefem Winkel durch einen Kalkspath, so erhält man zwei Bilder, das ordentliche hat die violette Farbe des Stahles, das außerordentliche eine Farbe, welche reiner und stärker ist, als die erste.

Kupfer. Die Farben des (angelaufenen) Kupfers werden ebenfalls beim Durchgange durch ein Kalkspathprisma getheilt; einige Stralen erleiden die ordentliche, andere die außerordentliche Brechung.

Spathiger Eisenglanz. Auch die schönen Farben dieses Eisenerzes lassen sich durch das Kalkspathprisma theilen. Bei den rosenrothen Krystallen ist das ordentliche Bild roth, das außerordentliche grün gefärbt, so daß man versucht sein könnte, hierin Farben, die sich zu weißem Lichte

ergänzen, zu sehen, was jedoch nicht der Fall ist, indem durch ihre Vereinigung nur die ursprüngliche rosenrothe Farbe erzeugt wird.

Verhalten gewisser thierischer Farben. Chylocopoca violacea (Fab.) Der violette Flügel dieses Insectes giebt, durch den Kalkspath betrachtet, ein violettrothes ordentliches und ein dunkelgrünes außerordentliches Bild.

Chrysomela graminis (Fab). Der gelbgrüne Flügel giebt, durch den Kalkspath betrachtet, ein gelbliches ordentliches und ein dunkelgrünes außerordentliches Bild.

b) Frühere Versuche von Brewster*).

Diese Versuche, an durch Feuer gefärbten Stahlplatten angestellt, schließen sich ganz an die vorigen an. Sie sind, nach Brewster's eigenen Worten, folgende:

„Ich verschaffte mir verschiedene gut polirte Stücke Stahl und erhielt bei verschiedenen Temperaturen alle Farbennuancen von einem blassen Strohgelb bis zum dunkelsten Indigo. Wurde das Licht einer Kerze von dem indigfarbenen Oxyde bei einem großen Einfallswinkel (etwa 75° oder 80°) reflectirt und dann vermittelst eines Kalkspathprismas untersucht, so schien es durchaus keine neue Modification erlitten zu haben; wurde aber der Einfallswinkel etwa bis 55° oder 60° verkleinert, so hatte das am wenigsten gebrochene Bild eine glänzende rothe Farbe, während das andere Bild keine Farbenänderung erlitten zu haben schien. Drehte ich das Prisma um die Gesichtslinie herum, so hatte das am stärksten gebrochene Bild eine helle rothe Farbe am Ende einer Viertelumdrehung, und bei jeder Vierteldrehung hatten die Bilder abwechselnd diese glänzende Farbe."

„Wurde das reflectirte Licht durch eine Achatplatte betrachtet, deren Lamellen senkrecht auf der Polarisationsebene standen, so war das Bild der Kerze lebhaft roth, und das formlose nebelige Licht, welches sich um dasselbe zeigte, war matt blau; waren aber die Lamellen parallel mit der Reflexionsebene, so nahm das Bild seine gewöhnliche Farbe an."

„Hielt ich ein Glimmerblättchen zwischen das blaue Oxyd und den Kalkspath, oder die Achatplatte, so erhielt das rothe Bild dieselbe Farbe, als das andere."

„Wurde Licht dadurch polarisirt, daß es von Wasser reflectirt wurde, oder durch Achat hindurchging, und dann unter dem passenden Winkel von dem blauen Oxyde reflectirt, so erschien das Bild in einer Ebene, welche senkrecht auf der Reflexionsebene stand, von rother Farbe, ähnlich dem Bilde, welches in den übrigen Versuchen entstand."

„Bei Anwendung der übrigen Stahlstücke, deren Farben bei niedrigeren Temperaturen erzeugt werden, als das indigofarbene Oxyd, hatte das Bild, welches im vorigen Versuche roth erschien, eine orange oder gelbe Farbe."

*) Schweigg. LXIII. 218.

c) Versuche von Arago *).

Diese Versuche betreffen Abänderungen, welche die Erscheinung der Farbenringe, die durch dünne Luftschichten erzeugt werden, bei Analyse mittelst des isländischen Spathes darbietet, je nachdem diese Ringe durch eine zwischen zwei Glaslinsen oder zwischen einer Glaslinse und einem Metallspiegel befindlichen Luftschicht erzeugt werden. Sie sind nach Arago's Darstellung folgende:

Betrachtet man die Farbenringe, welche sich zwischen zwei Glaslinsen bilden, vermittelst eines Kalkspathes, dessen Hauptschnitt senkrecht auf der Polarisationsebene steht oder mit demselben parallel ist, so haben bei senkrecht einfallendem Lichte beide Bilder dieselbe Intensität; wird der Stral mehr gegen die Ebene der Ringe geneigt, so wird eins dieser Bilder nach und nach schwächer und verschwindet endlich bei einem Einfallswinkel von 55°, zeigt sich dann aufs Neue bei einem schiefern Einfallswinkel und erhält eine desto größere Intensität, je kleiner der Winkel wird, welchen der Stral mit der Ebene bildet, in der die Ringe liegen. Das Licht wird hier also ebenso polarisirt, als in jedem andern Falle, wo es von dem Glase reflectirt wird, ohne daß die zweite Fläche auf die Erscheinung den geringsten Einfluß äußert. Untersucht man die hindurchgegangenen Ringe vermittelst eines Kalkspathprismas, so werden sie unter denselben Umständen polarisirt, als die reflectirten. Senkrecht betrachtet werden die Ringe in zwei gleich lebhafte Bilder getheilt, eins verschwindet bei einem Winkel von 55°, und erscheint wieder, wenn der Winkel des Strales mit der Ebene der Ringe größer wird. Wichtig aber ist dabei der Umstand, daß die hindurchgehenden Stralen auf dieselbe Art polarisirt sind, als die reflectirten; für dieselbe Lage des Kalkspathes verschwindet bei dem Winkel der vollständigen Polarisation stets dasselbe Bild.

Legt man eine Glaslinse auf einen Metallspiegel, so sind die entstandenen Ringe vollständig polarisirt, wenn der Einfallswinkel 55° beträgt und wenn man den Versuch auf diese Art macht, so läßt sich am leichtesten nachweisen, daß die reflectirten und durchgegangenen Ringe auf dieselbe Art polarisirt sind. Legt man nämlich eine Linse auf einen Metallspiegel, so daß das zerstreuete Licht der Atmosphäre auf den Spiegel fallen kann, ohne daß es genöthigt ist, durch die Linse zu gehen, hält also das direct auf die Linsen fallende Licht ab, so zeigen sich hier die hindurchgehenden Ringe, während die reflectirten erscheinen, wenn man die Oberfläche des Spiegels mit schwarzem Papier überdeckt. In beiden Fällen verschwindet stets bei einerlei Lage des Kalkspathes dasselbe Bild.

Wenn man dann, wenn die Ringe durch eine, auf einem Metallspiegel liegende, Linse gebildet werden, den Einfallswinkel ändert, so sieht man bis zu einem Winkel von 55° zwei Bilder, welche einander sehr ähnlich sind und von denen eins bei diesem Winkel den vollständigen Polari-

*) Mém. d'Arcueil. III. 323 oder Schweigg. LXIII. 299.

sation verschwindet, je nachdem der Hauptschnitt des Kalkspathprismas mit der Reflexionsebene zusammenfällt oder auf ihr senkrecht steht. Wird nun der Einfallswinkel kleiner, so erscheint zwar das zweite Bild aufs Neue, aber seine Farben sind nun die complementären von denen, welche das nicht verschwundene bei der vollständigen Polarisation hatte. Erschien der Centralfleck der Ringe z. B. dem bloßen Auge roth, so zeigen sich jetzt im Krystalle zwei Bilder, ein grünes und ein rothes. Wir sehen hieraus also, daß die Stralen, durch welche die gefärbten Ringe gebildet werden, bei senkrecht einfallendem Licht alle Eigenschaften des natürlichen Lichtes haben, daß sie bei einem Winkel von 55° vollständig polarisirt sind, und daß sie endlich bei kleineren Einfallswinkeln eine besondere Modification erleiden, durch welche sie sich sowohl von dem gewöhnlichen, als dem vollständig polarisirten Lichte unterscheiden. Aus welchem Metall übrigens auch der darunter liegende Spiegel bestehen möge, stets ist der Winkel der vollständigen Polarisation derselbe, welchen wir beim Glase beobachten.

Ein geringer Grad von Mattigkeit auf der Oberfläche des untern Metallspiegels ist keineswegs ein Hinderniß für die Entstehung der Ringe; dann aber lassen sich bei jedem Einfallswinkel zwei Reihen von Bildern beobachten. Die erste derselben wird durch das regelmäßig reflectirte Licht erzeugt, und stimmt ganz mit derjenigen überein, welche man auf vollkommen polirten Spiegeln wahrnimmt; die zweite schwächere Reihe entsteht durch das zerstreuete Licht, welches von den kleinen Unebenheiten des Spiegels reflectirt wird, und ist nur dann sichtbar, wenn das regelmäßig reflectirte Licht durch einen Schirm abgehalten wird. Beide Bilder haben stets die complementären Farben, ein Beweis, daß sie nicht auf dieselbe Art entstehen. Diese neuen Ringe werden ebenso wie die ersten bei einem Einfallswinkel von 55°, also unter demselben Winkel als beim Glase, vollständig polarisirt. Bei Winkeln, welche kleiner sind als 55°, zerlegt ein Kalkspathprisma diese neuen Ringe in zwei unähnliche Bilder, welche nicht ganz die complementären von einander sind, da die Ringe einfache Durchmesser haben.

Um zu entscheiden, ob Metallspiegel die einzigen Körper wären, welche es vermöchten, den Stralen der Ringe die Eigenschaft zu geben, daß sie bei gewissen Neigungswinkeln in zwei unähnliche Bilder zerlegt würden, nahm er statt des untern Spiegels Körper, welche sich in Betreff der Undurchsichtigkeit den Metallen am meisten näherten, als polirte Platten aus Steinkohle, Anthrazit, Achat ꝛc. Hier waren beide Bilder sehr ähnlich oder wenig von einander verschieden. In der Vermuthung, daß der Grund hievon in dem großen Brechungsvermögen der Metalle liegen möchte, nahm er glänzende Stücke Schwefel, Diamant ꝛc., aber auch hier zeigte sich keine Umkehrung; jedoch sind die letzteren Versuche nicht entscheidend, da das Brechungsvermögen der Metalle das von Schwefel und Diamant sehr übertrifft. Selbst bei Metalloxyden bemerkt man kaum einen Unterschied zwischen den beiden im Kalkspath erscheinenden Bildern.

Ist demnach die Gegenwart eines Metalles erfoderlich, wenn die Ringe durch eine Luftschicht gebildet werden, so ist dieses nicht mehr nöthig, wenn der dünne Körper eine größere Dichtigkeit hat und mit einer seiner Flächen ein anderes stark brechendes Mittel berührt. So zeigt die Steinkohle auf ihren Brüchen häufig sehr lebhafte Farben, welche durch eine dünne darüber liegende Schicht gebildet sind und bei passendem Einfallswinkel in zwei complementäre Bilder zerlegt werden. Die Farben, welche Alkohol und ätherische Öle bei fortschreitender Verdunstung auf der Oberfläche von Kohle zeigen, geben ebenfalls zwei unähnliche Bilder mit complementären Farben. Dasselbe bemerkt man bei den gefärbten Krystallen von Eisenglanz, Kupferkies, Bleiglanz 2c.

d) Versuche von Airy *).

Wenn man eine Glaslinse auf eine ebene Glasplatte legt, so sieht man, wie bekannt, eine Reihe von Ringen, deren Mittelpunct auffallend schwarz ist. Es ist gleichgültig, ob man dabei gemeines oder polarisirtes Licht anwendet; nur verschwinden bei letzterem die Ringe, sobald die Polarisationsebene senkrecht auf der Reflexionsebene steht, und die Stralen unter dem Winkel des Polarisationsmaximums einfallen; so wie man aber den Einfallswinkel größer oder kleiner macht, erscheinen auch die Ringe mit ihrem schwarzen Mittelpuncte wieder.

Legt man jedoch die Glaslinse auf eine Metallfläche, und läßt man Licht darauf fallen, das senkrecht gegen die Einfallsebene polarisirt ist, so zeigt sich Folgendes. So lange der Einfallswinkel klein ist, erscheint der Mittelpunct der Ringe schwarz; ist er dem Winkel des Polarisationsmaximums beim Glase gleich, so verschwinden die Ringe, obwohl das Metall noch reichlich Licht reflectirt; wird endlich der Winkel auch nur um ein Geringes vergrößert, so erscheinen die Ringe wieder, aber mit einem weißen Mittelpunct, und so bleibt die Erscheinung, bis der Einfallswinkel = 90° geworden ist.

Es ist einerlei, ob das Licht vor oder nach der Reflexion polarisirt wird. Dies giebt zu einer merkwürdigen Erscheinung Anlaß. Läßt man nämlich gemeines Licht unter einem Winkel, größer als dem der vollständigen Polarisation, einfallen, so haben die Ringe einen schwarzen Mittelpunct; bringt man aber eine Turmalinplatte mit ihrer Axe senkrecht gegen die Reflexionsebene gestellt, zwischen das Auge und die Linse, so sieht man die Ringe mit einem weißen Mittelpuncte.

Aus der Art, wie sich die Ringe bei Umdrehung des Turmalins verändern, schließt Airy, daß die in der Reflexionsebene liegenden Vibrationen des Lichtes (nach der Undulationstheorie) mehr durch die Reflexion von der Metallfläche beschleunigt werden, als die auf der Reflexionsebene senkrechten

*) Pogg. XXII. 611.

Vibrationen. Der schwarze Mittelpunct ist bei Anwendung eines Metalles nie so dunkel, als wenn die Linse auf Glas liegt, und eben so ist der weiße niemals sehr hell.

---

## XIV. Hauptsächlichste Bestimmungen der Undulationstheorie.

Die Undulationstheorie fängt seit der Entwickelung, die sie namentlich durch Fresnel erhalten hat, so sehr an, das Übergewicht über die Emissionstheorie zu gewinnen; sie erklärt viele Erscheinungen, die bis jetzt noch als unaufgelöste oder nur durch sehr precäre Voraussetzungen zu lösende Probleme für die letztere dastehen, auf eine so einfache und ansprechende Weise, daß eine Bekanntschaft mit derselben für jeden, der eine gründliche Einsicht in die Lehre des Lichtes und namentlich der so interessanten und merkwürdigen Polarisationsphänomene erlangen will, immer unentbehrlicher wird. Eine vollständige Darstellung dieser Lehre zu geben, kann natürlich hier auf keine Weise der Ort sein, und sie wäre um so überflüssiger, da wir in diesem Bezug auf das oft erwähnte Werk von Herschel verweisen können, freilich auch das einzige, worauf sich verweisen läßt.

Es schien mir indeß nützlich, hier eine kurze, dabei möglichst bestimmte und faßliche, Definition und Erörterung der Grundbegriffe zu geben, von denen die Undulationstheorie bei ihrem jetzigen Standpuncte ausgeht oder auf die sie in jedem Augenblicke zurückkommt; theils um etwas zu haben, worauf wir uns bei folgender Fortsetzung dieses Werkes beziehen können, theils auch um demjenigen, dem beim Studium von Abhandlungen, welche die Kenntniß des Undulationssystems voraussetzen, dieser oder jener Ausdruck nicht gleich in seiner richtigen Bedeutung geläufig ist, eine Quelle zum Nachsehen darzubieten, weshalb ich auch die einzelnen Artikel nach alphabetischer Ordnung gestellt habe, so daß man diesen Abschnitt als eine Art kleines Wörterbuch der Undulationstheorie ansehen mag, das jedoch begreiflich weder auf ins Detail eingehende Vollständigkeit, noch Ausführlichkeit Anspruch machen kann.

### Äther.

Zur Erklärung der Erscheinungen des Lichtes nach der Undulationstheorie nimmt man an, daß der ganze Weltraum mit einer ungemein feinen dünnen Flüssigkeit erfüllt ist, welche man Äther nennt, und die auch durch die Poren oder Zwischenräume der Theilchen aller Körper hindurch verbreitet ist. Wiewohl die Eigenschaften dieses Äthers durch sinnliche Wahrnehmungen nicht unmittelbar erkennbar sind, so kann man doch aus den Erscheinungen des Lichtes selbst auf dieselben schließen, oder vielmehr, man ist, um die Erscheinungen des Lichtes nach der Vorstellung, daß sie

durch Schwingungen der Äthertheilchen erzeugt werden, mit Genauigkeit darzustellen, genöthigt, dem Äther gewisse Grundbeschaffenheiten beizulegen, namentlich folgende:

a) Er besteht aus Theilchen, die in Entfernungen von einander befindlich sind, in welchen sie durch gegenseitige abstoßende Kräfte erhalten werden. Der Abstand je zweier Theilchen von einander ist so groß, daß die Dimensionen der Theilchen selbst dagegen verschwinden.

b) Der Äther ist im Besitze einer vollkommenen Elasticität, d. h. die Kraft, mit der ein aus der Lage seines Gleichgewichtes (Ruhepunct) gebrachtes Äthertheilchen in diese Lage zurückzukehren strebt, ist der Entfernung vom Ruhepuncte genau proportional und nach diesem Puncte gerichtet, vorausgesetzt, daß der Äther nach allen Richtungen von gleichförmiger Beschaffenheit ist.

c) Eine Schwere des Äthers, wenn sie Statt findet, kann doch bei allen Erscheinungen des Lichtes gegen die anderen Kräfte, wovon diese abhängen, vernachlässigt werden, so daß sich der Äther in diesem Bezuge als nicht schwer ansehen läßt.

d) Die Theilchen des Äthers lassen sich viel leichter gegen einander verschieben, als durch Zusammendrückung einander nähern.

e) Die Theilchen des Äthers sind vermöge der Elasticität desselben gerade so einer Schwingung fähig, wie die Theilchen der Luft, wenn sie durch irgend eine Ursache aus der Lage des Gleichgewichtes gebracht sind, und diese Schwingungen pflanzen sich von Theilchen zu Theilchen auf analoge Weise fort, als die Schallschwingungen in der Luft.

f) Die Schwingungen der Äthertheilchen, durch welche die Erscheinungen des Lichtes hervorgerufen werden, sind so klein, daß sie nur sehr wenig im Verhältniß zum gegenseitigen Abstande der Äthertheilchen betragen, und daß die relative Ordnung der Äthertheilchen dadurch nicht verrückt wird; oder mit anderen Worten, daß es nie über die Peripherie, welche die es zunächst umgebenden Äthertheilchen darum bilden, hinaus in die Mitte anderer Äthertheilchen geführt wird.

g) Die Dichtigkeit und Elasticität des Äthers ist in Körpern von verschiedener Beschaffenheit verschieden. Die specifische Elasticität desselben (d. h. die absolute Elasticität, dividirt durch die Dichtigkeit desselben) ist in den brechenden Mitteln kleiner, als im leeren Raume, und je stärker das Mittel bricht, um so geringer ist die specifische Elasticität des darin befindlichen Äthers.

**Amplitude** s. Schwingungen.

**Axen der Elasticität** s. Elasticität.

## Elasticität des Äthers.

Die Elasticität des Äthers ist eine Kraft, welche erfahrungsmäßig nur durch die davon abhängige Geschwindigkeit des Lichtes, d. h. durch die

Geschwindigkeit, mit der sich die Schwingungen von einem Ätherthellchen zum andern fortpflanzen (oder vielmehr nur durch die in bekannter Beziehung zu dieser Geschwindigkeit stehenden Erscheinungen des Lichtes), bestimmt und gemessen werden kann, und es ist daher für das Verständniß der Erscheinungen vor Allem nöthig, den Bezug dessen, was man Elasticität nennt, zu dieser Geschwindigkeit genau zu kennen.

In dieser Hinsicht kann man Elasticität des Äthers nach irgend einer Richtung als eine Kraft bestimmen, welche dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist, mit welcher sich Schwingungen, die in der betrachteten Richtung geschehen, durch den Äther fortpflanzen.

Haben wir daher einen nach allen Richtungen gleich elastischen Äther, wie er sich im leeren Raume oder homogenen nicht krystallisirten Körpern findet, so werden Schwingungen, in welcher Richtung sie auch geschehen, mit gleicher Geschwindigkeit durch denselben fortgepflanzt werden, und man wird dasselbe ausdrücken, wenn man sagt, der Äther habe in einem gewissen Körper dieser Art die vierfache Elasticität, als wenn man sagt, das Licht habe die doppelte Geschwindigkeit darin.

Haben wir dagegen einen nach verschiedenen Richtungen verschieden elastischen Äther, von welcher Beschaffenheit er in den meisten krystallisirten Körpern ist, so werden Schwingungen, die nach den verschiedenen Elasticitätsrichtungen geschehen *), sich mit ungleichen Geschwindigkeiten darin fortpflanzen, mit Geschwindigkeiten, welche den Quadratwurzeln der Elasticitäten, welche nach diesen Richtungen Statt haben, proportional sind.

Da die Richtung des Strales oder, was dasselbe ist, die Richtung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes (vgl. Stral) stets senkrecht auf den Schwingungsebenen der Lichttheilchen steht, so hängt die Geschwindigkeit des Lichtes nicht von derjenigen Elasticität des Äthers ab, welche in der Richtung des Strales selbst Statt findet, sondern von der Elasticität, welche senkrecht auf die Richtung des Strales in der Schwingungsebene der Theilchen parallel mit der Richtung der Schwingungen Statt findet; und die Richtung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes steht sonach stets senkrecht auf der Richtung der Elasticität, vermöge deren diese Fortpflanzung geschieht und von der ihre Geschwindigkeit abhängt.

Wenn man die hier gegebenen Bestimmungen festhält, so wird man immer das, was in theoretischen Darstellungen der Lichtlehre in Bezug auf die Elasticität, die eine nicht unmittelbar erscheinende Kraft ist, ausgedrückt wird, in die Sprache der Erscheinungen übersetzen können. Denn wiewohl auch die Geschwindigkeit des Lichtes nicht direct durch sinnliche

*) Es ist wohl in Obacht zu nehmen, daß hier wie im Vorigen nicht von der Richtung des Lichtstrales, sondern von der darauf senkrechten Richtung, in der die Theilchen, aus denen er besteht, schwingen, die Rede ist; (vgl. Stral).

Wahrnehmung zu bestimmen ist, so hängt doch von ihr die Richtung, in der sich das Licht fortpflanzt (die Richtung des Strales), so unmittelbar ab, daß man von Änderung in der Richtung des Strales unmittelbar auf Änderungen in der Geschwindigkeit schließen kann, und umgekehrt; denn in einfach brechenden Körpern verhält sich der Einfallssinus zum Brechungssinus wie die Geschwindigkeit im ersten zur Geschwindigkeit im zweiten Mittel, und bei doppelt brechenden Körpern wird der Bezug der Richtung zur Geschwindigkeit des Strales durch die Formeln S. 107 gegeben.

Was die sächliche Definition der Elasticität des Äthers anlangt, so ist sie die Kraft, mit welcher ein beliebiges Theilchen desselben in die Lage seines Gleichgewichtes zurückzukehren strebt, wenn es um eine gewisse kleine Weite aus dieser Lage abgelenkt worden ist. Absolute Elasticität bezeichnet die ganze Größe dieser Kraft, welche unter übrigens gleichen Umständen der Dichtigkeit des Äthers direct proportional ist; specifische Elasticität aber ist die absolute Elasticität, dividirt durch die Dichtigkeit des Äthers, oder, was dasselbe sagt, die absolute Elasticität, auf die Einheit der Dichtigkeit des Äthers bezogen. Nur von dieser specifischen Elasticität des Äthers hängt die Geschwindigkeit des Lichtes ab, und das zu Anfange Gesagte ist daher nur auf diese zu beziehen (die man in der Regel versteht, wenn man von Elasticität des Äthers schlechthin spricht), so wie auch die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Mitteln nicht durch die absolute Elasticität derselben bestimmt wird, denn sonst müßte sie in dichterer Luft größer als in dünnerer sein, sondern durch die specifische Elasticität, welche, da Dichtigkeit und Elasticität in der Luft in gleichem Verhältnisse wachsen, für dichte und dünne Luft constant bleibt. Wenn sich der Äther überall unter denselben Umständen befände, so würde die specifische Elasticität desselben, wie bei der Luft, für alle Dichtigkeiten desselben constant bleiben; allein da in brechenden Körpern die Kraft, mit welcher die Theilchen des Äthers ihre ursprüngliche Lage wieder einzunehmen streben, durch die anziehenden Kräfte der Körpertheilchen selbst beschränkt wird, so ist bei einer größern Dichtigkeit des Äthers in diesen Körpern doch die specifische Elasticität des Äthers darin kleiner, als im leeren Raume.

Die Elasticität des Äthers ist nicht bloß verschieden in verschiedenen Körpern, sondern sie kann auch in demselben Körper verschieden nach verschiedenen Richtungen sein.

Im leeren Raume und in homogenen nicht krystallisirten Mitteln ist dieselbe nach allen Richtungen gleich.

In den Krystallen mit Einer Axe positiver doppelter Brechung ist dieselbe ein Maximum in den mit dieser Axe parallelen Richtungen, ein Minimum in allen darauf senkrechten Richtungen, und sie hat zwischen-

*) Die bei Vergleichung der Elasticität verschiedener Mittel constant zu nehmen ist.

werthe zwischen dem Maximum und Minimum in allen gegen die Axe geneigten Richtungen.

In den Krystallen mit Einer Axe *negativer* doppelter Brechung fällt umgekehrt das Minimum der Elasticität in die Richtung der Axe, das Maximum in die darauf senkrechten Richtungen. Jedenfalls ist in den einaxigen Krystallen die Elasticität gleich in allen senkrecht gegen die Axe genommenen Richtungen, so wie auch gleich in allen gegen die Axe gleichgeneigten Richtungen; ebenso ist sie gleich, aber von den vorigen verschieden, in allen mit der Axe parallelen Richtungen.

In den Krystallen mit *zwei* optischen Axen sind drei auf einander senkrechte Hauptrichtungen bemerkenswerth, welche man die *Axen* der Elasticität nennt. In die Richtung der einen fällt das Maximum, in die der andern das Minimum der Elasticität, und in die dritte eine gewisse zwischen dem Maximum und Minimum liegende Elasticität. Die letzte wollen wir der Kürze halber die Axe der *mittlern* Elasticität nennen, womit aber bloß ausgedrückt sein soll, daß die nach ihrer Richtung Statt findende Elasticität zwischen der Maximum- und Minimum-Elasticität liegt, ohne gerade das arithmetische Mittel davon zu sein, da sie vielmehr je nach der Verschiedenheit der Krystalle beliebige Werthe zwischen beiden haben kann. Die Lage dieser Axen bestimmt sich so, daß die Axe der mittlern Elasticität senkrecht auf der Ebene beider optischen Axen (die mit den Elasticitätsaxen nicht zu verwechseln sind) steht, die beiden anderen Elasticitäten aber in dieser Ebene enthalten sind, und zwar so, daß die eine den spitzen, die andere den stumpfen Winkel beider optischen Axen gerade mitten durch theilt.

Die Lage der Elasticitätsaxen kann immer auf die hier angegebene Weise in Bezug zu den durch bekannte Eigenschaften bestimmten optischen Axen als erfahrungsmäßig gegeben angesehen werden*); man kann sie aber noch durch eine andere, für die mathematische Analyse der Erscheinungen wichtige, Betrachtung theoretisch bestimmen, die wir jetzt angeben wollen:

Wenn in einem homogenen Mittel, worin der Äther nach verschiedenen Richtungen verschiedene Elasticitäten hat, ein Äthertheilchen aus seiner Lage verrückt worden ist, so wird es, einige besondere Fälle ausgenommen, nicht in der Richtung der Verrückung zurückgetrieben werden, sondern (vermöge der Wirkung aller Theilchen, zu denen sein Verhältniß verändert worden ist), in einer Richtung, die mit der Richtung seiner Verrückung einen Winkel macht. Es werden aber doch in jedem solchen Mittel im Allgemeinen drei auf einander rechtwinkliche Richtungen Statt finden, welche

*) Die relativen Werthe der nach ihrer Richtung Statt findenden Elasticitäten lassen sich ebenfalls erfahrungsmäßig nach den drei (für gewisse Richtungen des Schnitts und Einfalls) constanten Brechungsexponenten des Krystalles finden. Die in dieser Hinsicht Statt findende Beziehung ist S. 115 angegeben worden. (Statt die Elasticität *in der Luft* Z. 12 v. u. muß es dort heißen die Elasticität *in der ersten Richtung*.)

die Eigenschaft haben, daß, wenn ein Äthertheilchen in ihrer Richtung verrückt worden ist, es in der Richtung seiner Verrückung wieder zurückzukehren strebt, und diese drei Richtungen sind die der Elasticitätsaxen. (Vgl. Herschel's Werk S. 556).

Wie unter Stral und Polarisation angegeben werden wird, geschehen in jedem Lichtstrale die Schwingungen der Theilchen senkrecht auf die Richtung des Strales; ein (gewöhnlich oder geradlinig) polarisirter Stral ist ein solcher, in welchem sie überdies sämmtlich in parallelen Richtungen geschehen, und die Polarisationsrichtung ist die, welche in der auf der Richtung des Strales senkrechten Ebene senkrecht auf der Richtung der Schwingungen ist.

Wir wollen nun zur Erläuterung und Anwendung des Vorigen betrachten, was für ein Erfolg eintreten muß, wenn ein polarisirter Stral mit dieser Beschaffenheit längs der Axe der mittlern Elasticität durch einen Krystall geht. Jedenfalls, da die Schwingungen seiner Theilchen in einer Ebene geschehen, welche die Axe der größten und kleinsten Elasticität des Krystalles enthält, wird die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Strales *) nur von dieser Maximum- und Minimum-Elasticität abhängen können. Bloß von der ersten wird sie abhängen, wenn der Stral senkrecht auf die Axe des Maximums parallel mit der des Minimums polarisirt ist, weil dann die Schwingungen seiner Theilchen der Maximumaxe parallel geschehen; bloß von der Minimumelasticität wird sie abhängen, wenn der Stral senkrecht auf die Axe des Minimums polarisirt ist, und in beiden Fällen wird der Stral ungetheilt bleiben. Ist dagegen der Stral in einer zwischen die vorigen fallenden Richtung polarisirt, so werden sich seine Schwingungen (nach dem Verhältniß des Sinus und Cosinus des Winkels der Richtung mit den Axen) in zwei Theile, deren einer parallel der Maximum-, der andere parallel der Minimumaxe geschieht, zerlegen lassen, und der Stral wird sich dann in zwei Theile spalten, deren einer mit der Maximum-, der andere mit der Minimumgeschwindigkeit sich fortpflanzt.

Insofern nun eine andere Geschwindigkeit auch im Allgemeinen eine andere Richtung des Strales bei Brechung durch eine schiefe Fläche mit sich bringt, werden sich die beiden, mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortgehenden, Theile des Strales wirklich beim Austritt durch eine solche Fläche von einander trennen und dadurch die Erscheinungen der doppelten Brechung oder der Theilung in ein gewöhnliches und ein ungewöhnliches Bündel hervorbringen, in denen die Schwingungen der Theilchen in auf einander senkrechten Richtungen geschehen, oder, was dasselbe sagt, die senkrecht auf einander polarisirt sind.

*) Wohl zu unterscheiden von der Geschwindigkeit der Schwingungen, vgl. Geschwindigkeit.

Begreiflich, da ein natürlicher Stral sich als aus Theilchen bestehend ansehen läßt, welche Schwingungen nach allen möglichen Richtungen in Ebenen senkrecht auf die Richtung des Strales vollbringen, so wird man durch Zerlegung aller dieser Schwingungen nach der Maximum- und Minimumaxe ebenfalls eine Theilung des Strales in zwei Bündel von verschiedener Geschwindigkeit und mithin die Erscheinung der Doppelbrechung beim Austritt durch eine schiefe Fläche erhalten; ja diese Doppelbrechung wird unter allen Umständen, wo der Stral längs der Axe der mittlern Elasticität hingeht, Statt finden müssen, da hier nie alle Schwingungen zugleich einer der beiden Axen parallel sein können, wie im Fall eines senkrecht auf eine beider Axen polarisirten Strales, vielmehr, da die Schwingungen im natürlichen Strale in gleichem Verhältniß nach allen möglichen Richtungen geschehen, wird die Zerlegung nach der Richtung der einen Axe stets eine eben so große Summe geben, als die Zerlegung nach der andern, so daß sich der Stral hier stets in zwei Bündel gleicher Intensität spaltet, welche respectiv mit der Maximum- und Minimum-Geschwindigkeit fortgehen.

Diese Auseinandersetzung galt für den Fall, wenn der Stral längs der Axe der mittlern Elasticität fortging. Man sieht nun nach derselben Schlußfolge leicht ein, daß ein Stral, der längs der Minimumaxe hingeht, ebenfalls zweier Geschwindigkeiten fähig ist, derjenigen nämlich, welche von der Maximumelasticität und der, welche von der mittlern Elasticität abhängt, und daß ein Stral, der längs der Maximumaxe hingeht, bloß der Minimumgeschwindigkeit und der mittlern Geschwindigkeit fähig ist, von denen er entweder eine ungetheilt besitzt, wenn er bloß nach der auf die zugehörige Axe senkrechten Richtung polarisirt war, oder die er beide zugleich besitzt, indem er sich in zwei Theile spaltet, welchen diese Geschwindigkeiten angehören, wenn er in einer Richtung zwischen beiden Axen polarisirt war oder sich im natürlichen Zustande befand.

Das Verhalten eines Strales, der längs der Axe eines einaxigen Krystalles hingeht, wird sich hienach von selbst ergeben.

Wir würden zu weit in das Gebiet der doppelten Brechung eingehen müssen, wenn wir auch das erörtern wollten, was Statt haben muß, wenn der Stral nach anderen Richtungen als denen der Elasticitätsaxen durch den Krystall hindurchgeht, und es ist kaum möglich, ohne mathematische Formeln hier deutlich zu werden. Eine sehr klare Erörterung der Regeln und Gesetze, die hiebei in Betracht kommen, findet sich in Herschel's oft erwähntem Werke über das Licht S. 560 ff. *). Bloß so viel wollen wir noch erwähnen, daß die optischen Axen eines zweiaxigen Krystalles durch die Bedingung als bestimmt angesehen werden können, daß, wenn ein Stral längs ihrer Richtung hingeht, die Geschwindigkeiten der beiden auf einander senkrecht polarisirten Bündel, in die er sich hiebei zerlegt, gleich wer-

*) Einige Erläuterung wird auch das auf S. 112 Angeführte gewähren.

den, daher auch ein solcher Stral beim Austritt durch eine schiefe Fläche ungespalten bleibt.

### Erschütterung.

Unter Erschütterung versteht man die Anregung, die ein oder mehrere Theilchen dadurch zur Schwingung erhalten, daß sie, durch welche Kraft es auch sei, aus der Lage ihres Gleichgewichtes entfernt werden. Die Erschütterung eines Theilchens ist entweder eine mitgetheilte oder eine ursprüngliche, je nachdem sie sich bloß von anderen Theilchen auf das Theilchen fortpflanzt, oder je nachdem sie durch darauf einwirkende selbstständige Kräfte hervorgebracht wird. Letzteres ist bei den selbstleuchtenden Theilchen der Fall, ersteres bei den Theilchen, zu denen der Lichtstral vom leuchtenden Theilchen aus gelangt. — Mittelpunct der Erschütterung ist der Punct, welchen das leuchtende Theilchen im Ruhezustande einnimmt.

### Farbe.

Der Eindruck der Farbe, den ein Lichtstral hervorbringt, hängt gerade so von der Menge Schwingungen, welche die darin enthaltenen Äthertheilchen in gleicher Zeit vollbringen, ab, als die Höhe des Tones von der Menge Luftschwingungen, welche in gleicher Zeit unser Ohr treffen, und zwar sind die brechbarsten Stralen (violett) diejenigen, in denen die meisten, die mindesten brechbaren Stralen (roth) diejenigen, in welchen die wenigsten Schwingungen in gleicher Zeit vollbracht werden.

Zufolge des Umstandes, daß die Undulationslänge oder die Größe des Abstandes zweier Wellenoberflächen von einander mit der Größe des Raumes übereinkommt, durch welchen sich die Welle während der Zeit einer ganzen Schwingung fortpflanzt, während die Geschwindigkeit dieser Fortpflanzung bei gleichbeschaffenen Mitteln sich bei jeder Schnelligkeit der Schwingungen gleich bleibt, müssen die Stralen, in welchen die Schwingungen die kürzeste Dauer haben, d. h. in welchen in gleicher Zeit die meisten Schwingungen vollbracht werden, zugleich die kleinsten Undulationslängen besitzen. Daher besitzen die brechbarsten oder violetten Stralen die kleinsten, die mindest brechbaren oder rothen Stralen die größten Undulationslängen.

Die Erscheinungen der Farben dünner Blättchen führen zur Kenntniß der absoluten Größe der Undulationslängen für die verschiedenen Farbenstralen. Man hat solchergestalt gefunden, daß die Länge einer Undulation in Luft für die äußersten rothen Stralen 266 Zehnmilliontheile, für die äußersten violetten 167 Zehnmilliontheile eines englischen Zolles beträgt, woraus sich berechnen läßt, daß die Anzahl der Schwingungen, die in 1 Secunde von Theilchen eines violetten Strales vollbracht werden, 458 Billionen, die von Theilchen eines rothen Strales vollbracht werden, 727 Billionen beträgt, während ür die dazwischenfallenden Farben Zwischen-

werthe Statt finden. (Eine Tabelle für die verschiedenen Farben findet sich in Herschel's Werke S. 307.)

Da man über die Gränzen des Roth und Violett hinaus im Farbenspectrum keine Farben weiter wahrnimmt, aber nicht wohl ein Grund ist, anzunehmen, daß in der Natur bloß Schwingungen innerhalb der angegebenen Gränzen der Schnelligkeit Statt finden sollten, so hat man vielmehr anzunehmen, daß die Empfindlichkeit unsers Auges für Farben gerade so innerhalb gewisser Gränzen eingeschlossen ist, als die Empfindlichkeit unsers Ohres innerhalb gewisser Gränzen der Höhe und Tiefe für Töne. Es erhellt aber zugleich, daß die Gränzen für das Auge viel enger als für das Ohr sind, da das Verhältniß der äußersten noch wahrnehmbaren Schwingungen beim Auge beinahe wie das von 1,58 : 1 ist, daher weniger als eine Octave beträgt und ungefähr der kleinen Sexte gleichkommt. (Vgl. Herschel's Werk S. 301, 307.)

Ein weißer Lichtstral oder Lichtbündel kann in der Undulationstheorie bei allen Betrachtungen eben so als eine Vereinigung sämmtlicher farbiger Lichtstralen gedacht werden, als in der Emissionstheorie.

### Geschwindigkeit.

In der Undulationstheorie des Lichtes kommen hauptsächlich dreierlei Arten von Geschwindigkeiten vor, die es wichtig ist, nicht zu verwechseln:

1) Die Geschwindigkeit, die ein Lichttheilchen in jedem Puncte seiner Bahn hat. Diese hängt ab von der absoluten Elasticität des Äthers in dem Mittel, durch welches das Licht hindurchgeht, von der Größe der ganzen Schwingung und von der Entfernung des Theilchens vom Ruhepuncte in dem Zeitpuncte, in welchem die Schwingung betrachtet wird.

2) Die Geschwindigkeit der Schwingungen, oder die Geschwindigkeit, mit der sie sich succediren, welche im umgekehrten Verhältnisse der Dauer jeder einzelnen Schwingung steht, aber unabhängig von der Größe oder Amplitude der Schwingungen ist. Sie bestimmt die Farbe des Lichtes. (Vgl. Farbe.)

3) Die Geschwindigkeit des Lichtes oder des Strales selbst, oder, wie man öfters sagt, die Geschwindigkeit, mit der sich der Stral bewegt. Dies ist die Schnelligkeit, mit der sich die Schwingungsbewegung von einem Theilchen zum andern fortpflanzt. Sie ist unabhängig von den beiden vorigen Geschwindigkeiten, und hängt bloß von der specifischen Elasticität des Mittels ab, durch welches das Licht sich bewegt.

Näheres über Geschwindigkeit s. unter Licht und Schwingung.

Intensität des Lichtes s. Licht.

### Interferenz der Schwingungen oder Stralen.

Die hierüber erfoderlichen Erörterungen werden im Zusammenhange im folgenden Kapitel gegeben werden.

### Leuchtender Punct oder leuchtendes Theilchen.

Hierunter versteht man einen ursprünglich erschütterten Punct, von dem aus sich dann die Erschütterung zu den anderen Puncten des Äthers wellenförmig fortpflanzt.

### Licht.

Die **Materie**, die den Erscheinungen des Lichtes nach der Undulationstheorie zu Grunde liegt, ist der **Äther** (s. Äther), und die **Empfindung** des Lichtes in unserm Auge entsteht nach dieser Theorie durch regelmäßige Schwingungen der Äthertheilchen, welche unser Sehorgan treffen, auf ganz analoge Weise, als die Empfindung des Schalles durch Schwingungen der Lufttheilchen, welche unser Gehörorgan treffen.

Die **Fortpflanzung** oder **Bewegung** des Lichtes besteht darin, daß die Schwingung, in die ein oder mehrere Äthertheilchen durch Entfernung aus der Lage ihres Gleichgewichtes versetzt worden sind, sich den anliegenden Äthertheilchen mittheilt, diese wieder den ihnen zunächst liegenden u. s. f., so daß sich solchergestalt die Schwingung von dem ursprünglich erschütterten Theilchen (**leuchtenden Theilchen**) durch die ganze Masse des Äthers fortpflanzt. Während sich daher nach der **Emissionstheorie** die Theilchen selbst fortpflanzen, und z. B. das unser Auge treffende Sonnenlicht aus Theilchen besteht, die wirklich von der Sonne ausgefahren sind, pflanzt sich nach der **Undulationstheorie** bloß der Schwingungszustand der Theilchen fort, während jedes Theilchen sich nicht weiter von seiner Stelle bewegt, als die kleine Schwingung, in die es geräth, und die es abwechselnd nach beiden Seiten seiner Gleichgewichtslage führt, mit sich bringt.

Die **Farbe** des Lichtes hängt von der Anzahl Schwingungen der Äthertheilchen ab, welche in gleicher Zeit vollbracht werden und unser Auge treffen, oder von der Geschwindigkeit der Schwingungen; sie ist mithin analog der Tonhöhe. (Vgl. **Farbe**.)

Die **Intensität** oder **Stärke** des Lichtes hängt bei geradlinigen Schwingungen ab von der Amplitude, bei kreisförmigen oder elliptischen von der Größe des Radius oder der Halbaxen. Sie ist im ersten Falle dem Quadrat der Amplitude, im letzten dem doppelten Quadrat des Radius oder der Summe der Quadrate der Halbaxen proportional. Sie ist ganz analog der Stärke des Schalles und nimmt bekanntlich in einem gleichförmigen Äther nach dem quadratischen Verhältnisse des Abstandes vom leuchtenden Theilchen ab.

Die **Geschwindigkeit** des Lichtes hängt ab von der Schnelligkeit, mit welcher sich die Schwingung von dem ursprünglich erschütterten Äthertheilchen (leuchtenden Theilchen) successiv zu den übrigen Äthertheilchen durch den Raum hindurch fortpflanzt, und sie ist daher wohl von der Geschwindigkeit der einzelnen Äthertheilchen zu unterscheiden.

Die Geschwindigkeit des Lichtes ist unabhängig von der Größe (Amplitude), Geschwindigkeit und Form*) der Schwingungen, welche die einzelnen Theilchen machen, indem, wie auch diese Umstände beschaffen sein mögen, doch die Mittheilung der Schwingungen von einem Theilchen zum andern mit gleicher Schnelligkeit Statt hat. Während daher die Lichtstärke (von der Amplitude der Schwingungen abhängig) gleich der Stärke des Schalles mit zunehmender Entfernung vom Anfangspuncte abnimmt, bleibt die Geschwindigkeit unverändert, und so wie die Töne der verschiedensten Höhe doch mit gleicher Schnelligkeit fortgepflanzt werden, pflanzt sich auch Licht von den verschiedensten Farben mit gleicher Schnelligkeit fort, vorausgesetzt, daß die Beschaffenheit des Äthers sich unterwegs nicht ändert.

Die Schnelligkeit des Lichtes hängt bloß ab von der Beschaffenheit des Äthers, durch welchen hindurch die Fortpflanzung geschieht, und zwar ist sie der Quadratwurzel der specifischen Elasticität des Äthers proportional.

So lange die specifische Elasticität des Äthers sich nicht ändert, bleibt sich die Geschwindigkeit des Lichtes gleich, d. h. es pflanzt sich in gleichen Zeiten um gleich viel fort; beim Übergange aus einem Äther von größerer specifischer Elasticität in einen Äther von geringerer specifischer Elasticität (vgl. Äther und Elasticität) aber verlangsamt sich das Licht, und daher pflanzt es sich langsamer durch brechende Mittel als den leeren Raum fort. Nach der Emissionstheorie findet in dieser Hinsicht gerade das Umgekehrte Statt.

Oscillation s. Schwingung.

## Phase.

Phase einer Schwingung. Man theilt die Zeit, welche ein Äthertheilchen zur Vollendung einer ganzen Schwingung braucht (diese Zeit von dem Augenblicke der größten Ausweichung des Äthertheilchens an bis zu seiner Rückkehr zu demselben Puncte gerechnet)**) in 360 Grade, indem man sie sich gleichsam als einen Kreis vorstellt, und nennt die so bestimmte Zeit, welche vom Anfange der Schwingung verflossen ist, die Phase der Schwingung ***).

*) d. h. ob sie geradlinig, kreisförmig oder elliptisch sind.

**) Manche rechnen die Phase von der Mitte der Schwingung an. Begreiflich kommt es bloß darauf an, sich jedesmal hierüber zu verständigen. Ich werde die Phase stets wie oben angegeben rechnen. — Man kann den Ausdruck Phase, den ich oben zunächst nur für geradlinige Schwingungen erörtere, auch für kreisförmige und elliptische Schwingungen brauchen, indem man sie von einem bestimmten Puncte des Kreises oder der Ellipse, z. B. bei letzterer von der Zeit an, wo sich das Äthertheilchen an einem Ende der großen Axe befindet, rechnet; aber immer mit Bedacht, daß man darin nicht den elliptischen Bogen, sondern die Zeit, welche zu seiner Durchlaufung gebraucht wird, in 360 gleiche Grade zu theilen hat.

***) Die Phase einer Schwingung zur Zeit $t$, diese Zeit vom Puncte der

Gesetzt z. B. es sei seit dem Zeitpuncte, wo sich das Ätherthеilchen auf dem Puncte seiner größten Ausweichung befand, $\frac{1}{8}$ der Zeit verflossen, welche es zur Vollendung der ganzen Schwingung braucht, so wird man sagen, die Phase des Theilchens sei 45° oder ein Achtel Umkreis; ist das Viertheil der Zeit einer ganzen Schwingung von jenem Zeitpuncte an verflossen, so wird die Phase 90° betragen, u. s. f.

Insofern man die Zeit einer ganzen Schwingung in vier Viertheile auf analoge Weise als den Kreis in vier Quadranten theilt, kann man vier Hauptphasen der Schwingung unterscheiden, in denen die Bewegung ähnlich ist, aber in entgegengesetzter Richtung oder auf entgegengesetzten Seiten des Mittelpunctes Statt findet. In der ersten Phase befindet sich das Theilchen rechts vom Mittelpuncte (um von dieser Lage auszugehen) und nähert sich demselben; in der zweiten ist es links von demselben, allein in beiden geschieht die Bewegung von der rechten nach der linken Hand. In der dritten Hauptphase liegt das Theilchen links vom Centrum, und bewegt sich gegen dasselbe, von der linken nach der rechten Hand. In der vierten ist es rechts vom Mittelpuncte, und entfernt sich von demselben, indem es immer von der linken nach der rechten Seite zu sich bewegt.

Die Phase 360° fällt, wie leicht zu erachten, mit der Phase 0° zusammen, da nach Vollendung der Zeit 360° das Theilchen sich wieder beim Anfange seiner Schwingung befindet.

Positive Phasen werden wir künftig alle diejenigen nennen, welche in den beiden ersten, negative die, welche in den beiden letzten dieser Hauptphasen begriffen sind. Entgegengesetzte Phasen sind solche, deren Unterschied 180° beträgt.

Es muß in Obacht genommen werden, daß, da das Ätherthеilchen in geradlinigen Schwingungen sich nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, die Phase, die nach dem Vorigen der Zeit proportional ist, nicht zugleich allgemein dem vom Ätherthеilchen durchlaufenen Raume proportional sein kann, dies ist bloß zu Anfang oder Ende der vier Hauptphasen der Fall, indem allerdings, wenn z. B. die erste Hauptphase oder $\frac{1}{4}$ der Zeit der ganzen Oscillation vollendet ist, auch der durchlaufene Weg $\frac{1}{4}$ des ganzen zu durchlaufenden Weges beträgt; und wenn die halbe Zeit der ganzen Schwingung oder die zweite Hauptphase vollendet ist, der durchlaufene Weg die Hälfte des ganzen (hin und zurück) zu durchlaufenden Weges sein wird; dagegen z. B. in der Phase 45° zwar die Zeit $\frac{1}{8}$ der Zeit der ganzen Schwingung, aber nicht der Raum $\frac{1}{8}$ des ganzen zu durchlaufenden Raumes betragen wird.

größten Ausweichung des Ätherthеilchens an gerechnet, ist

$$= 2\pi \frac{t}{T}$$

wo $\pi = 180°$ und T die Dauer einer ganzen Schwingung ist.

Phase einer Undulation. Auf ganz analoge Weise, als man die zu einer ganzen Schwingung erfoderliche Zeit nach Phasen abtheilt, theilt man die räumliche Länge, die wir mit Wellenlänge oder Undulationslänge (s. diese) bezeichnen, nach Phasen ab, die man dann Phasen der Undulation nennt. So wird man z. B. von einem Puncte, dessen Entfernung vom Anfange einer Undulation (in der Richtung des Strales) ein Viertheil der Undulationslänge beträgt, sagen, die Phase seiner Undulation sei 90° u. s. f.

Es verdient bemerkt zu werden, daß die Phase der Schwingung eines Theilchens allemal dieselbe als die Phase der Undulation eines Theilchens ist, so daß, wenn die eine z. B. 90° oder 30° u. s. f. beträgt, auch die andere 90° oder 30° u. s. f. sein wird; oder mit anderen Worten, wenn die Zeit, die seit der Epoche, wo sich das Ätherthellchen auf dem Puncte seiner größten Ausweichung befand, $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{12}$ der Dauer der ganzen Schwingung beträgt, so wird sich dies Theilchen zugleich auf dem Viertheil oder Zwölftheil der Undulationslänge befinden, zu der es gehört.

Dies hängt davon ab, daß:

a) Undulationslänge die Länge ist, durch welche eine Welle während der Dauer einer ganzen Schwingung fortschreitet;

b) daß diese Fortschreitung gleichförmig geschieht, mithin gleichen Zeitincrementen gleiche Incremente des Fortrückens der Undulation entsprechen;

c) daß man sowohl den Anfang einer Schwingung als einer Undulation von der Zeit oder Stelle an rechnet, wo sich das Ätherthellchen auf dem Puncte seiner größten Ausweichung befindet.

Nach dieser Übereinstimmung der Werthe der Schwingungsphase oder Undulationsphase ist es daher auch gleichgültig, ob man sagt, ein Ätherthellchen befinde sich in dieser oder jener Phase der Schwingung oder in dieser oder jener Phase der Undulation, indem hiedurch jedenfalls derselbe Zustand des Ätherthellchens bezeichnet wird, nur in jenem Falle durch eine zeitliche, in diesem durch eine räumliche Beziehung.

Phase und Phasenunterschied von Stralen. Der Ausdruck Phase eines Strales wird hauptsächlich bei Stralen, die in einem Puncte zusammentreffen oder interferiren, gebraucht, und man versteht darunter die Phase der Undulation oder Schwingung, in der das an diesem Puncte befindliche Ätherthellchen sich in dem betrachteten Zeitpuncte befinden würde, wenn die Schwingungsbewegung sich durch den betrachteten Stral allein dahin fortgepflanzt hätte. Noch mehr als der absolute Werth der Phase jedes der zusammentreffenden Stralen kommt jedoch in der Regel der Phasenunterschied derselben in Betracht, indem von ihm der Zustand, in den das Theilchen durch das Zusammentreffen beider Stralen bei ihm geräth, abhängt. So bleibt das Theilchen ruhig, wenn zwei gleiche Stralen, deren Phasenunterschied 180° beträgt, bei ihm interferiren, da sie jeder für sich es in völlig entgegengesetzte Zustände versetzen würden, dagegen seine

Amplitude doppelt so groß wird, als im Fall bloß einer beider gleichen Stralen bei ihm angelangt wäre, wenn der Phasenunterschied beider Stralen 0° oder 360° ist. Auch vom Phasenunterschiede zweier Stralen, die in allen ihren Puncten zusammenfallen, kann man sprechen. Dann ist vorausgesetzt, daß dieser Phasenunterschied für alle übereinanderfallende Puncte durch den ganzen Stral constant ist, oder mit anderen Worten, daß je zwei zusammenfallende Puncte darin denselben Phasenunterschied haben, als je zwei andere der zusammenfallenden Puncte. Dies kommt besonders häufig bei Zusammensetzung und Zerlegung von Stralen in Betracht.

### Polarisation und polarisirter Stral.

Polarisirter Stral. Wenn man von einem polarisirten Strale schlechthin spricht, so versteht man immer das darunter, was im Folgenden als geradlinig oder gewöhnlich polarisirter Stral erklärt werden wird.

Geradlinig oder gewöhnlich polarisirter Stral ist ein solcher, in welchem die Ätherthеilchen alle in parallelen, auf die Richtung des Strales senkrechten, geradlinigen Richtungen hin und zurück oscilliren. Ein geradlinig oder gewöhnlich polarisirter Stral läßt sich stets in zwei andere, in derselben Ebene polarisirte, Stralen zerlegt denken, die um $\frac{1}{4}$ Undulation in der Phase verschieden sind und deren jeder die halbe Intensität des totalen Strales hat. Nach einer andern Zerlegungsweise jedoch läßt sich auch der einfache polarisirte Stral in zwei andere senkrecht auf einander polarisirte Stralen von gleicher Phase zerlegt denken, deren Intensitäten sich zu einander verhalten wie das Quadrat des Sinus zum Quadrat des Cosinus des Winkels, den die Polarisationsebene des einen partiellen Strales mit der Polarisationsebene des totalen Strales macht.

Entgegengesetzt polarisirte oder senkrecht auf einander polarisirte Stralen sind solche, in deren einem die Schwingungen in einer Ebene geschehen, welche senkrecht ist auf der Schwingungsebene der Theilchen im andern Strale.

Kreisförmig oder circulär polarisirter Stral ist ein solcher, in welchem die Theilchen alle sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit und nach derselben Richtung in Kreisen bewegen, deren Ebenen auf der Richtung des Strales senkrecht stehen.

Ein kreisförmig oder circulär polarisirter Stral läßt sich stets in zwei geradlinig polarisirte Stralen zerlegt denken, deren Intensitäten gleich, deren Polarisationsebenen senkrecht auf einander und deren Phasen um $\frac{1}{4}$ Undulation von einander abweichend sind.

Elliptisch polarisirter Stral ist ein Stral, in welchem die Theilchen sich in gleichbeschaffenen Ellipsen, deren Ebene senkrecht auf der des Strales ist, bewegen. Von der Art, wie sich ein elliptisch polarisirter Stral zerlegen läßt, ist schon S. 291 gesprochen.

Natürlicher oder nicht polarisirter Stral ist ein solcher, in welchem die Äthertheilchen in allen möglichen verschiedenen geradlinigen Richtungen, die jedoch alle senkrecht auf die Richtung des Strales sind, schwingen. Ein natürlich einfallender Stral kann im Erfolg betrachtet werden als bestehend aus zwei rechtwinklich gegen einander, und (jeder) von beiden Seiten um 45° gegen die Einfallsebene polarisirten Stralen von gleicher Phase und Intensität.

Polarisationsebene ist die durch einen geradlinig polarisirten Stral senkrecht auf die Schwingungsrichtung seiner Theilchen gelegte Ebene.

## Schatten.

Jedes Äthertheilchen, zu welchem sich vom leuchtenden Theilchen aus eine Schwingung fortgepflanzt hat, kann eigentlich selbst wieder als ein neuer Mittelpunct der Erschütterung angesehen werden, welcher rings um sich Wellen schlägt, d. h. von welchem sich nach allen Seiten Schwingungen fortpflanzen*); allein in einem nach allen Richtungen freien Raume heben sich die Schwingungen, die in einer von der ursprünglichen Richtung (welche bei kugelförmigen Wellen auf der Oberfläche derselben senkrecht steht) abweichenden Richtung fortgepflanzt werden, durch wechselseitige Einwirkung gegenseitig auf, so daß für die Betrachtung bloß die Fortpflanzung nach dieser Richtung, welche man dann Richtung des Lichtstrales nennt, übrig bleibt**).

Ist der Raum nicht überall frei, sondern treffen die Wellen beim Fortschreiten durch denselben irgend ein begränztes undurchsichtiges Hinderniß an, so scheint es, da sich die Äthertheilchen an den Rändern des Hindernisses ebenfalls als neue Mittelpuncte der Erschütterung betrachten lassen, als müßte sich eine Bewegung von hier aus auch nach allen Seiten hinter das Hinderniß fortpflanzen, als könnte mithin die Erscheinung des Schattens, welche eine mangelnde Fortpflanzung der Lichtschwingungen in dem Raume hinter dem Hindernisse anzeigt, nicht Statt finden, und als müßte, wenn das Licht durch eine noch so kleine Öffnung einer Wand dringt, der ganze Raum hinter der Wand vermöge der von den Rändern der Öffnung sich ringsum verbreitenden Wellen erhellt erscheinen, da doch bloß der Theil (oder vielmehr vermöge der Beugung des Lichtes ein nur wenig größerer Theil) erhellt erscheint, welcher in der Richtung der bei den Rändern des Hindernisses vorbei- oder durch die Öffnung der Wand hindurch-gehenden ursprünglichen Lichtstralen liegt. In der That

*) In der That, da es beim leuchtenden Theilchen bloß die Entfernung aus der eigenen Lage des Gleichgewichtes ist, was das Gleichgewicht der Nachbartheilchen ringsum stört, so muß jedes Theilchen, welches durch eine mitgetheilte Schwingung aus seiner Gleichgewichtslage entfernt wird, hiedurch eben so auf alle Theilchen ringsum wirken, als das ursprünglich leuchtende Theilchen seiner Umgebung.

**) Die Nachweisung dieses Umstandes s. in Herschel's Werke S. 331.

kann die Compensation der Schwingungen nach den von der Richtung des ursprünglichen Lichtstrales abweichenden Richtungen in Bezug auf den Hinterraum des Körpers oder der Wand nicht mehr Statt finden, weil anstatt der Puncte der Wellenoberfläche, von welchen diejenigen Schwingungen ausgehen sollten, welche zur Compensation der nach einwärts von den Rändern des Körpers, oder nach auswärts von den Rändern der Öffnung sich fortpflanzenden Schwingungen dienen müßten, die Theile des Körpers oder der Wand vorhanden sind, welche keine Schwingungen fortpflanzen, und es scheint eine Abwesenheit des Schattens um so mehr vorausgesetzt werden zu müssen, da wir bemerken, daß der Schall, der sich nach ähnlichen Gesetzen durch die Luft fortpflanzt, als wir bei Fortpflanzung des Lichtes durch den Äther voraussetzen, sich hinter Hindernisse verbreitet oder so zu sagen um Ecken herumgeht. In der That hat man daher auch die Erscheinung des Schattens als einen Einwurf gegen die Undulationstheorie angeführt. Dieser Einwurf verliert jedoch seine Kraft durch folgende Annahme, deren Nothwendigkeit zwar bis jetzt aus der Beschaffenheit der Ätherschwingungen noch nicht erwiesen ist, die aber einerseits nichts Widersprechendes an sich, andererseits sogar die Analogie des Schalles für sich hat; dies ist folgende:

„Wenn Schwingungen in einer, von der ursprünglichen Richtung der Fortpflanzung abweichenden, Richtung fortgepflanzt werden, so nimmt zwar nicht die Geschwindigkeit der Fortpflanzung, wohl aber die Amplitude oder Stärke der Schwingungen in dem Maße ab, als der Winkel der neuen Fortpflanzungsrichtung mit der alten größer wird, und zwar sehr schnell ab".

Es findet hienach zwar in der That eine Fortpflanzung der Schwingungen auch nach den Richtungen, die sich von den Rändern eines Körpers nach einwärts neigen, Statt, und giebt sich wirklich durch gewisse Erscheinungen der Inflexion oder Beugung des Lichtes zu erkennen; aber nach allen, einen nur etwas in Betracht kommenden Winkel mit der ursprünglichen Richtung bildenden, Richtungen der Fortpflanzung geschehen die Schwingungen zu schwach, um noch einen wahrnehmbaren Eindruck auf unser Auge zu machen.

Hiemit stimmt sehr wohl der Umstand überein, daß auch der Schall in um so schwächerm Grade gehört wird, je mehr er genöthigt ist, sich in einer von der ursprünglichen Richtung abweichenden Richtung fortzupflanzen; denn obschon man ihn um eine Ecke herum hört, so hört man ihn doch nicht mit derselben Stärke, als wenn er in seiner ursprünglichen Richtung dieselbe Strecke Weges durchlaufen hätte; nur ist die Schwächung für den Schall bei Zunahme des Abweichungswinkels viel kleiner als für das Licht, was unstreitig auf der verschiedenen Beschaffenheit des schwingenden Mittels, das beim Schalle die Luft, beim Lichte der Äther ist, beruht. Man kann sich u. a. durch folgenden einfachen Versuch (Herschel's Werk S. 299) von dieser Schwächung des Schalles beim Herumgehen um eine Ecke überzeugen:

Man nehme eine einfache Stimmgabel und halte dieselbe, nachdem sie in schwingende Bewegung gesetzt ist, mit der platten Seite 3 oder 4 Zoll von dem Ohre entfernt; hierauf bringe man einen Kartenstreifen, der etwas länger als die Gabel ist, in eine Entfernung von ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll von der Gabel zwischen sie und das Ohr. Der Ton wird fast völlig aufgehalten, und wird die Karte sehr schnell hin- und herbewegt, so hört man wechselsweise einen Ton und eintretende Stille, zum Beweise, daß die Schwingungen auch der Luft keineswegs mit gleicher Stärke um den Rand der Karte fortgepflanzt werden, als in gerader Richtung.

### Schwingung, Vibration oder Oscillation *) eines Äthertheilchens.

Hierunter wird nicht bloß die Bewegung eines Ätherthellchens verstanden, bei der es in gerader Linie abwechselnd von einer Seite des Ruhepunctes zur andern übergeht, sondern man nennt so auch Bewegungen eines Ätherthellchens in Kreisen oder Ellipsen um den Ruhepunct als Centrum, welche letzteren Bewegungen wirklich auch außer den geradlinigen in der Natur vorkommen **), die kreisförmigen nämlich in den kreisförmig oder circulär polarisirten, die elliptischen in den elliptisch polarisirten Stralen, während in den geradlinig oder gewöhnlich polarisirten Stralen, so wie in den Stralen natürlichen Lichtes, die Theilchen geradlinige Schwingungen machen.

Die Richtungen, in welchen die geradlinigen Schwingungen oder die Ebenen, in welchen die kreisförmigen oder elliptischen Schwingungen eines Ätherthellchens geschehen, stehen jedenfalls senkrecht auf der Richtung des Strales oder der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, und sind bei kugelförmigen Wellen parallel mit der Oberfläche der Welle. (Vergl. hierüber Stral.)

Jede kreisförmige oder elliptische Schwingung läßt sich nach den, im folgenden Kapitel anzuführenden, Regeln und Gesetzen in zwei geradlinige Schwingungen zerlegt denken, daher hauptsächlich die Betrachtung der letzteren von Wichtigkeit ist (die ohnehin häufiger vorkommen), indem sich die der anderen immer darauf zurückführen lassen.

Bei jeder Schwingung kommt außer der Form und Richtung derselben hauptsächlich in Betracht: die Amplitude der Schwingung, im Fall es

*) Wohl zu unterscheiden von Welle oder Undulation.

**) Wenn, wie man bei der Undulationstheorie annimmt, eine Kraft, welche proportional der Entfernung von dem Puncte des Gleichgewichtes und nach diesem Puncte gerichtet ist, in einem Äther von nach allen Richtungen gleichförmiger Beschaffenheit, der einzige Grund der Schwingungen der Theilchen ist, so sind, bei dem Ausschlusse von Bewegungen ins Unendliche, nach mechanischen Gesetzen bloß die dreierlei Bewegungen in gerader Linie, in Kreisen und Ellipsen möglich, von welchen übrigens begreiflich die beiden ersten als besondere Fälle des letztern betrachtet werden können, wenn nämlich die eine Axe der Ellipse null, oder beide Axen einander gleich werden.

eine geradlinige ist, der Radius der Bahn, wenn es eine kreisförmige, und die beiden Halbaxen, wenn es eine elliptische Schwingung ist; — außerdem noch die Dauer der Schwingung, und die davon abhängige Geschwindigkeit, mit der sich die Schwingungen succediren, endlich die Geschwindigkeit des Theilchens an jedem Puncte seiner Bahn während der Schwingung.

1) Amplitude der Schwingung ist für den Fall einer geradlinigen Schwingung die größte Ausweichung des Ätherttheilchens vom Ruhepuncte, oder, nach anderen, diese größte Ausweichung doppelt genommen, wo sie dann die ganze Weite der Schwingung vorstellen würde*). Wir werden uns jedoch des Wortes Amplitude stets im erstern Sinne bedienen, wonach es also die größte Entfernung, in die das Äthertheilchen bei seiner Schwingung nach einer Seite des Ruhepunctes gelangt, vorstellt.

Von der Amplitude der Schwingung der Theilchen in einem Lichtstrale hängt die Intensität oder Helligkeit des Strales ab, sie ist nämlich dem Quadrat der Amplitude direct proportional**).

Die Amplitude der Schwingung von Theilchen, zu denen sich die Schwingungsbewegung von einem leuchtenden Puncte aus fortgepflanzt hat, steht im umgekehrten einfachen Verhältniß des Abstandes dieser Theilchen vom leuchtenden Puncte.

2) Dauer einer ganzen Schwingung ist die Zeit, welche ein Theilchen braucht, um von dem Puncte, wo es am weitesten von der Lage seines Gleichgewichtes entfernt ist, auf die andere Seite dieses Punctes und wieder zum ersten Puncte zurückzugelangen, bei einer geradlinigen Schwingung also die Zeit, die zur Vollendung eines Hin- und Herganges (zusammengenommen) erfoderlich ist, bei der kreisförmigen und elliptischen Schwingung die Zeit, die zur Vollendung eines ganzen Umlaufes des Theilchens gebraucht wird. Man theilt die Dauer einer ganzen Schwingung nach Phasen ab, wie bei Phase näher angegeben ist.

Die Dauer einer ganzen Schwingung ist, wie bei kleinen Schwingungen überhaupt, unabhängig von der Weite der ganzen Schwingung, so daß Schwingungen von sehr verschiedenen Amplituden oder Halbaxen doch in gleicher Zeit vollendet werden, wofern sie in einem Mittel von gleicher Elasticität des Äthers geschehen.

3) Geschwindigkeit oder Schnelligkeit der Schwingungen. Diese wird durch die Zahl der Schwingungen bestimmt, welche in gleicher Zeit vollbracht werden, und steht mithin im umgekehrten Verhältniß der Dauer derselben. Der Ausdruck Geschwindigkeit oder Schnelligkeit der

*) Herschel in seinem Werke über das Licht ist sich in diesem Bezuge nicht consequent geblieben, indem er S. 303 dasselbe halbe Amplitude nennt, was er S. 320 als ganze Amplitude bestimmt.

**) Bei kreisförmigen Schwingungen ist die Intensität des Strales dem halben Quadrat des Durchmessers oder dem doppelten Quadrat des Radius, bei elliptischen Schwingungen der Summe der Quadrate beider Halbaxen proportional.

Schwingungen bezieht sich auf die Schnelligkeit, mit der sich die Schwingungen succediren, und er ist daher nicht mit der Geschwindigkeit, die das Theilchen in jedem Puncte seiner Bahn während jeder einzelnen Schwingung hat, zu verwechseln. Eben so wenig darf sie mit der Geschwindigkeit des Lichtstrales, d. h. der Geschwindigkeit, mit der sich die Schwingungen von einem Theilchen zum andern fortpflanzen, verwechselt werden.

4) Geschwindigkeit der Theilchen während der Schwingung. Außer der Schnelligkeit, mit der sich die Schwingungen eines Theilchens succediren, welche durch den vorigen Ausdruck bezeichnet wird, kommt auch noch die Geschwindigkeit, welche das Theilchen in jedem Puncte seiner Bahn während jeder einzelnen Schwingung hat, in Betracht. Diese Geschwindigkeit ist im Fall einer kreisförmigen Schwingung gleichförmig, im Fall einer geradlinigen oder elliptischen aber ungleichförmig, und zwar ein Maximum beim Durchgange durch den Ruhepunct oder in der größten Nähe beim Ruhepuncte vorbei, ein Minimum oder Null in der größten Entfernung vom Ruhepuncte.

Die näheren Bestimmungen für die Geschwindigkeit eines Theilchens sind überhaupt für den Fall einer geradlinigen Schwingung folgende:

a) Wenn zwei Theilchen Schwingungen von verschiedener Amplitude in einem gleichbeschaffenen Mittel machen, so verhält sich die Geschwindigkeit derselben an correspondirenden Puncten ihrer Bahn*) wie die Größe der Amplituden, so daß z. B. ein Theilchen, dessen Schwingung die doppelte Amplitude von der eines andern hat, mit doppelter Geschwindigkeit sowohl durch den Ruhepunct, als jeden andern correspondirenden Punct der Bahn hindurchgehen wird, als das andere Theilchen.

b) Die relative Geschwindigkeit des Theilchens in jedem Puncte seiner Bahn hängt von seiner Entfernung vom Ruhepuncte ab und kann durch folgende geometrische Construction bestimmt werden, wenn die Geschwindigkeit desselben beim Durchgange durch den Ruhepunct bekannt ist.

Man stelle in Fig. 86. die Amplitude der Schwingung durch die Linie cb vor, worin c der Ruhepunct ist. Man beschreibe um c als Mittelpunct mit dem Radius ca = cb = cg einen Kreis agb. Dann wird sich die Geschwindigkeit des Theilchens an jedem Puncte e der Bahn zur Geschwindigkeit beim Durchgange durch den Ruhepunce verhalten, wie das Perpendikel ef zur Länge bc oder cg, so daß der Kreis selbst die Curve der Geschwindigkeiten für alle Puncte der Bahn darstellt.

*) Correspondirende Puncte zweier Bahnen nenne ich die, deren Abstand vom Ruhepuncte ein gleiches Verhältniß zur Amplitude hat, so daß z. B. zwei Theilchen sich in correspondirenden Puncten ihrer Bahn befinden werden, wenn sowohl das eine als das andere $\frac{1}{4}$ der Amplitude vom Ruhepuncte an durchlaufen hat.

c) Bei gleicher Amplitude und gleichem Abstande vom Ruhepuncte verhält sich die Geschwindigkeit zweier Theilchen in zwei Mitteln von verschiedener Elasticität des Äthers direct wie die Quadratwurzel der absoluten Elasticität.

Homologe Schwingungen. Wenn ein Theilchen einmal in Schwingung versetzt ist, so wird es diese Schwingung gerade so wiederholen, wie eine einmal in Schwingung versetzte Saite. Diejenigen Schwingungen zweier verschiedenen Äthertheilchen nun, die sich in der Ordnungszahl von der ersten an gerechnet, entsprechen, werde ich homologe Schwingungen nennen, so daß z. B. die zweite Schwingung des einen Äthertheilchens homolog ist der zweiten Schwingung des andern Äthertheilchens u. s. f.

Zusatz. Nach folgenden Formeln läßt sich die Entfernung x eines Theilchens vom Ruhepuncte, und die Geschwindigkeit $\nu$ desselben bei der geradlinigen Schwingung in jedem Augenblick bestimmen.

Für das leuchtende Theilchen.

Es sei a die größte Ausweichung oder Amplitude der Schwingung des leuchtenden Theilchens, E die absolute Kraft der Elasticität des Äthers, T die Dauer einer ganzen Schwingung, t die Zeit, für welche x oder $\nu$ gesucht wird, von dem Augenblicke an gerechnet, wo der leuchtende Punct sich an der Stelle der größten Ausweichung befindet oder in die erste Hauptphase (s. Phase) der Schwingung eintritt, $\pi = 180°$, dann hat man für das leuchtende Theilchen:

$$x = a \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

$$-\nu = a\sqrt{E} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right)$$

$$= \sqrt{E\,(a^2 - x^2)}$$

Für ein Theilchen in der Entfernung D vom leuchtenden Theilchen.

Um x und $\nu$ für ein Theilchen, welches sich in der Entfernung D vom leuchtenden Theilchen oder Mittelpuncte der Erschütterung in einem Äther von gleichförmiger Dichte und Elasticität befindet, zu bestimmen, sei $\alpha$ die Amplitude des betrachteten Äthertheilchens, t die Zeit, für welche $\nu$ oder x gesucht wird, von dem Augenblicke an gerechnet, wo das leuchtende Theilchen in die erste Hauptphase seiner ersten Schwingung eintritt; T die Dauer einer ganzen Schwingung des leuchtenden oder jeden andern Theilchens (da diese in einem gleichförmigen Mittel überall gleich ist), V die Geschwindigkeit des Lichtes oder der Raum, durch den sich die Erschütterung in der Zeiteinheit durch den Äther hindurch fortpflanzt, $\lambda$ die Undulationslänge oder der Raum, durch den sich das Licht während der Dauer einer Schwingung (T) fortpflanzt; E und $\pi$ haben dieselbe Bedeutung als vorhin. Dann hat man

$$x = a \cos \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{D}{VT} \right) \right]$$
$$= a \cos \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{D}{\lambda} \right) \right]$$
$$v = a \sqrt{E} \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{D}{\lambda} \right) \right]$$
$$= \sqrt{E} \, (a^2 - x^2)$$

Die Herleitung dieser Formeln s. in Herschel's Werk S. 302 oder Pogg. XXIII. 217.

Es erhellt aus letzteren Formeln, daß die eigentliche Geschwindigkeit der Äthertheilchen in jedem beliebigen Verhältnisse kleiner als die des Lichtes sein kann, denn der Werth von $v$ hängt hinsichtlich seines numerischen Ausdruckes nur von $a$ oder der Größe der Ausweichung und von E oder der absoluten Elasticität des Mittels ab, aber gar nicht von V oder der Geschwindigkeit des Lichtes (der Geschwindigkeit, mit der die Welle fortgepflanzt wird).

## Stral*).

Was Stral und Richtung des Strales im Sinne der Wellentheorie sei, muß zunächst in Bezug auf Wellen, die sich im leeren Raume oder in Körpern von constanter Elasticität **) (homogenen Körpern) bewegen, erklärt

*) Die häufig und u. a. auch in Herschel's Werke S. 307 gegebene Definition: „Die Richtung eines Strales im Undulationssystem ist eine Linie, welche auf der Oberfläche der Welle senkrecht steht", ist zu eng, da sie zwar für den Fall kugelförmiger, aber nicht ellipsoidischer Wellen gilt, wo die Stralen keineswegs senkrecht auf die Wellenoberfläche sind, und man kann überhaupt die Richtung eines Strales nicht allgemein durch seinen Bezug zur Richtung der Wellenoberflächen bestimmen. Fresnel (Mém. de l'Acad. T. VII. p. 145) sagt in diesem Bezuge, unter der besondern Überschrift: *Définition du mot rayon*, sehr bündig: „Le mot *rayon* dans la théorie des ondes doit toujours être appliqué à la ligne qui va du centre de l'onde à un point de surface, *quelle que soit d'ailleurs l'inclinaison de cette ligne sur l'élément*, *auquel elle aboutit*, ainsi que l'a remarqué Huygens; car cette ligne offre en effet toutes les propriétés optiques de ce qu'on appelle *rayon* dans le système de l'émission".

Ich bin dieser, unstreitig richtigen Definition Fresnel's gefolgt, nach welcher Stral nichts anders als ein Radius vector der Wellenoberfläche ist. Sie kann jedoch, wie man sieht, direct nur auf Wellen, die sich in gleichförmigen Mitteln fortpflanzen, angewandt werden, und gebrochene, zurückgeworfene oder krummlinige Stralen, wie sie bei plötzlich oder continuirlich sich ändernder Beschaffenheit des Mittels Statt finden, können nur als Zusammensetzungen geradliniger Stralen betrachtet werden, die man von jedem Puncte an, wo eine Änderung der Beschaffenheit des Mittels eintritt, von neuem verfolgen muß, was bei continuirlicher Änderung der Beschaffenheit nicht wohl anders als mittelst höherer Rechnungsarten geschehen kann.

**) d. h. in denen die Elasticität des Äthers sich nicht von einem Puncte zum andern ändert, was nicht hindert, daß sie (wie in den meisten krystallisirten Körpern) um jeden Punct nach verschiedenen Richtungen verschieden sei.

werden. Wie der Stral zu bestimmen ist, wenn die Wellen in ihrem Fortgange auf Körper von verschiedenem Brechungsvermögen (welches von der Elasticität des Äthers abhängt) treffen, oder durch Schichten von continuirlich sich änderndem Brechungsvermögen hindurchgehen, wird nachher besonders angegeben werden.

Unter Voraussetzung also des leeren Raumes oder eines homogenen Körpers, durch welchen die Wellen fortschreiten, ist Richtung des Strales die gerade Linie, welche vom Mittelpuncte der Welle nach einem Puncte ihrer Oberfläche gezogen wird (was man Radius vector der Oberfläche nennt), und Stral selbst die Reihe von Äthertheilchen, die in dieser geraden Linie enthalten ist *).

Öfters indeß versteht man auch unter Stral nicht bloß eine einzige Linie von Äthertheilchen, sondern eine Vereinigung mehrerer solcher nebeneinanderliegender Linien, die man sich dann als einen dünnen geraden Cylinder vorstellen kann, dessen Axe die Richtung des Strales angiebt. Eben so oft nennt man eine solche Vereinigung aber auch ein Lichtbündel.

Die Richtung des Strales giebt die Richtung an, nach welcher jede Welle sich an dem Puncte, wo der Stral in sie eintrifft, fortpflanzt, und sie ist daher dieselbe mit der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes. Auf der Richtung des Strales wird der Abstand der Wellenoberflächen von einander oder die Undulationslänge gemessen, und man sagt daher von einem Stral selbst, er habe eine größere oder kleinere Undulationslänge, je nachdem die Abstände der Wellenoberflächen, die er durchschneidet, größer oder kleiner sind.

Die Richtung des Strales ist stets senkrecht auf der Ebene, in der die Schwingungen seiner Theilchen, mögen sie nun geradlinig, kreisförmig oder elliptisch sein, geschehen.

In den kugelförmigen Wellen, wie sie im leeren Raume oder einem Mittel, in welchem der Äther nach allen Richtungen gleiche Elasticität hat (in homogenen nicht krystallisirten Körpern), Statt finden, steht die Richtung der Stralen, da sie die Radien der Wellen bilden, auch allenthalben senkrecht auf der Oberfläche derselben.

In ellipsoidischen Wellen dagegen stehen die Stralen bloß in der Richtung der Axen der Ellipsoiden auf der Oberfläche derselben senkrecht.

Wenn man von Bewegung oder Fortpflanzung eines Strales durch einen Körper hindurch spricht, so ist darunter nicht die schwingende Bewegung, nicht eine Fortschreitung der Theilchen, welche den Stral bilden, zu verstehen, sondern bloß die Fortpflanzung des Schwingungszustandes durch die Theilchen längs der Richtung des Strales.

*) Genauer: deren Ruhepuncte in dieser geraden Linie enthalten sind, da die Theilchen in auf den Stral senkrechter Richtung oscilliren.

Bei einem Lichtstrale ist außer der Richtung desselben besonders zu betrachten:

1) Die Geschwindigkeit des Strales, d. h. die Schnelligkeit, mit welcher sich die Schwingung durch die Reihe Ätherteilchen, aus denen der Stral besteht, fortpflanzt. Diese Geschwindigkeit ist gleichförmig im leeren Raume, so wie in gleichförmigen Mitteln; sie ist um so kleiner, je größer das Brechungsvermögen der Körper ist, durch den sich der Stral bewegt, und ist, wenn sich der Stral durch einen Körper bewegt, worin die Elasticität des Äthers verschieden nach verschiedenen Richtungen ist, am größten, wenn die Schwingungen seiner Theilchen in der Richtung der größten Elasticität geschehen (wobei er selbst mithin senkrecht auf diese Richtung hindurchgehen muß).

2) Die Intensität oder Helligkeit des Strales. Diese hängt ab von der Amplitude der Schwingungen, welche den Stral bilden, indem sie (bei geradlinigen Schwingungen) dem Quadrate dieser Amplitude proportional ist *). Die Intensität zweier Stralen kann dadurch, daß sie in demselben Puncte zusammentreffen (oder in derselben Linie übereinanderfallen), eine resultirende Lichtintensität für das an diesem Puncte befindliche Auge geben, welche entweder größer oder kleiner als die Summe der Intensitäten beider Stralen für sich ist, je nach den Phasen, in denen sie zusammentreffen; ja es kann durch das wechselseitige Zusammentreffen eine wechselseitige Zerstörung beider Stralen, d. h. ein Verschwinden ihrer Intensität zu Stande kommen.

In der That, wenn ein Theilchen vermöge der Schwingungsbewegung, die sich längs des einen Strales zu ihm fortpflanzt, zu derselben Zeit gerade die entgegengesetzte Richtung und Geschwindigkeit der Bewegung annehmen würde, als vermöge der, längs des andern Strales zu ihm fortgepflanzten, Schwingungsbewegung, so müssen sich beide Bewegungen wechselseitig gerade aufheben, die Schwingungsamplitude des Theilchens wird null werden, und es wird Dunkelheit für das am Puncte des Zusammentreffens beider Stralen vorhandene Auge sein. Umgekehrt, wenn zwei Stralen von gleicher Intensität in gleichen Phasen ihrer Schwingung zusammentreffen, so wird die Amplitude der Schwingung des Theilchens, das am Puncte des Zusammentreffens liegt, nach den Gesetzen der Superposition kleiner Schwingungen, doppelt so groß werden, als in jedem Strale für sich, und, da die Intensität des Strales dem Quadrate der Amplitude proportional ist, so wird die Intensität des resultirenden Lichtes nicht das Doppelte, sondern das Vierfache der Intensität jedes einzelnen Strales sein.

Ausführlicher wird hievon im folgenden Kapitel die Rede sein.

3) Die Farbe des Strales. Sie hängt ab von der Schnelligkeit

*) Für elliptische und kreisförmige Schwingungen vgl. S. 354.

der Schwingungen der Theilchen, welche den Stral bilden, oder der Undulationslänge derselben (vgl. Farbe).

4) Der Polarisationszustand des Strales, welcher die Form und das Verhältniß der Schwingungen seiner Äthertheilchen betrifft, ob sie nämlich geradlinig, kreisförmig oder elliptisch, parallel oder verschieden gerichtet sind (vgl. Polarisation).

Ein Stral kann in derselben geraden Richtung nur so lange verfolgt werden, als das Brechungsvermögen des Mittels, worin sich die Wellen bewegen, constant bleibt. Trifft er auf die Trennungsfläche zweier heterogenen Mittel, so ändert sich seine Richtung (durch die Zurückwerfung und Brechung). Man muß in diesem Falle den Punct, wo der Stral in die Trennungsfläche eintrifft, als einen neuen Mittelpunct der Erschütterung ansehen, welcher Wellen um sich schlägt und von dem mithin nach allen Seiten Stralen als die Radii vectores dieser Wellen ausgehen, und in so fern würde sich eigentlich jeder Stral an der Trennungsfläche zweier heterogener Mittel in unendlich viele verschiedene theils zurückgeworfene theils gebrochene Stralen spalten.

Durch mathematische Betrachtung jedoch läßt sich zeigen, daß die Stralen, die nach anderen als zwei (oder bei doppelt brechenden Körpern im Allgemeinen drei) Richtungen, welche man die des zurückgeworfenen und des gebrochenen Strales nennt, von dem neuen Wellenmittelpuncte ausgehen, zerstört werden durch andere Stralen, die von anderen Puncten derselben Trennungsfläche aus bei denselben Puncten des Raumes anlangen*), so daß definitiv für die Betrachtung bloß der zurückgeworfene und gebrochene Stral (oder die gebrochenen Stralen) als Fortsetzungen des einfachen übrig bleiben.

Die allgemeinste Definition von der Richtung des Strales möchte hienach die sein: es ist die Richtung, in welcher sich die Schwingungsbewegung von einem Mittelpuncte aus fortpflanzt, ohne von den von anderen Mittelpuncten aus fortgepflanzten Schwingungen aufgehoben zu werden.

Um einen Stral durch ein Mittel hindurchzuführen oder zu construiren, hat man daher in jedem Falle eigentlich nöthig, jeden gefundenen Punct desselben als einen neuen Mittelpunct von Schwingungen zu betrachten, und nun zu untersuchen, nach welchen Richtungen die Schwingungen wirksam oder unaufgehoben bleiben; ist es eine einzige Richtung, so wird sich der Stral nach dieser einzigen Richtung fortsetzen; sind es mehrere, so wird sich der Stral spalten.

Diese Regel, auf die Fortpflanzung des Lichtes im leeren Raume oder Körpern von homogener Beschaffenheit angewandt, führt, wie wir schon

*) d. h. die Schwingungsbewegungen, welche sich nach anderen als den Richtungen des zurückgeworfenen und gebrochenen Strales fortpflanzen, werden aufgehoben durch entgegengesetzte Schwingungsbewegungen, welche bei demselben Puncte des Raumes durch die von anderen Puncten der Trennungsfläche ausgehenden Stralen anlangen.

bei Welle erörtert haben, zu dem Resultate, daß die Fortsetzung jedes Strales von jedem Puncte seiner Länge aus immer in dieselbe gerade Linie fällt, und eben deshalb ist der Stral geradlinig. Dieselbe Regel, mittelst höherer Rechnungsarten angewandt, kann aber auch dazu dienen, die Richtung des Strales in Mitteln, deren Brechungsvermögen sich continuirlich ändert, zu bestimmen; nur muß man begreiflich hiebei die Gesetze kennen, wie Stralen auf einander einwirken, was im folgenden Kapitel näher betrachtet werden wird.

Ähnliche Stralen nennt man solche, welche gleiche Richtung, gleiche Farbe (mithin gleiche Undulationslänge) und gleichen Polarisationszustand (d. i. Parallelismus der in ihnen vor sich gehenden Schwingungen) besitzen, während Ursprung oder Phase und Intensität der Stralen beliebig verschieden sein kann.

Übereinstimmung oder Entgegensetzung zweier Stralen. Man sagt von zwei in einem Puncte zusammentreffenden oder interferirenden Stralen, daß sie übereinstimmen oder entgegengesetzt sind, je nachdem das am Puncte ihres Zusammentreffens befindliche Äthertheilchen durch beide in gleichen oder in entgegengesetzten Phasen sich befinden würde.

Ursprung eines Strales. Ursprung eines Strales ist zunächst der Punct, wo sich das leuchtende Theilchen in der Phase = Null seiner Schwingung befindet. Man braucht jedoch auch das Wort Ursprung öfters für einen beliebigen andern Punct innerhalb des Strales, wo sich ein Theilchen in einem gewissen Zeitpuncte in der Phase = Null findet, mithin überhaupt für den Anfang jeder beliebigen Undulationslänge in dem Strale. Unterschied des Ursprunges ist mit Unterschied in der Undulationsphase gleich zu achten. Sagt man z. B. von zwei Stralen, die an einem Puncte zusammentreffen oder interferiren, der Unterschied ihres Ursprunges betrage $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ Undulationslänge, so ist dies dasselbe, als wenn man sagte, der Unterschied ihrer Phasen betrage 180° oder 90° an dem Puncte des Zusammentreffens.

Undulation und Undulationslänge s. Welle und Wellenlänge.

Vibration s. Schwingung.

## Welle oder Undulation.

Der Zustand eines elastischen Mittels, durch welches sich eine Schwingungsbewegung von einem Mittelpuncte aus fortpflanzt, ist so beschaffen, daß man sich dasselbe in, um den Mittelpunct concentrische, Oberflächen oder Schalen (in der Regel kugelförmiger oder ellipsoidischer Gestalt) getheilt denken kann, deren jede alle die Puncte enthält, zu denen die Erschütterung vom Mittelpuncte aus in demselben Augenblicke gelangt ist, und in deren jeder sich auch fortwährend die Theilchen in gleicher Phase der Schwingung befinden. Geht man von einer Oberfläche zur nächstfolgenden über, so ist die Phase der Schwingung (zu demselben Zeitpuncte

betrachtet) nicht mehr dieselbe, weil die Theilchen jeder nächstfolgenden (weiter vom Mittelpuncte abliegenden) Oberfläche um einen Augenblick später in die homologe Phase eintreten, als die Theilchen jeder vorhergehenden, und man wird solchergestalt im weitern Fortschreiten vom Mittelpuncte aus successiv durch Oberflächen von allen möglichen positiven und negativen Phasen der Schwingung gelangen; es werden aber in gewissen (räumlichen) Intervallen (nach Durchlaufung aller positiven und negativen Zwischenphasen) immer Oberflächen von gleicher Phase der Schwingung wiederkehren, deren jede von der nächsten um einen so großen Raum abliegt, als die Erschütterung während der Zeit einer ganzen Schwingung des leuchtenden Theilchens zu durchlaufen vermag. — Bleiben wir nun bei Betrachtung bloß der Schalen oder Oberflächen stehen, in welchen sich die Theilchen gerade im Maximum ihrer Ausweichung befinden, d. i. gerade in die erste Hauptphase einer Schwingung eintreten oder, was dasselbe sagt, gerade die letzte vollendet haben, und theilen durch diese Schalen das Mittel in concentrische Schichten ab!

**Welle** oder **Undulation** ist nun die Schicht oder Gesammtheit der Theilchen, welche zwischen zwei solchen auf einander folgenden Schalen, worin die Theilchen eben in die erste Phase der Schwingung eintreten, oder die letzte beendigen, enthalten sind.

**Innere Oberfläche** der Welle heißt diejenige Oberfläche, welche die Welle nach dem Mittelpuncte der Schwingung zu begränzt.

**Äußere Oberfläche** der Welle diejenige, welche sie nach der vom Mittelpuncte der Schwingung abgewandten Seite begränzt.

Begreiflich fällt solchergestalt die äußere Oberfläche jeder Welle mit der innern Oberfläche der ihr vorangehenden Welle zusammen.

Zwischen den beiden Oberflächen einer Welle, die solchergestalt bloß Theilchen, die sich zu Anfange der ersten oder am Ende der letzten Phase einer Schwingung befinden, enthalten, befinden sich Oberflächen von allen möglichen positiven und negativen Phasen der Schwingung.

Wenn von der Form von Wellen gesprochen wird, so ist diese allemal auf die Oberflächen derselben zu beziehen.

In einem elastischen Mittel von nach allen Seiten gleicher specifischer Elasticität sind die Oberflächen aller Wellen kugelförmig; denn da sich in einem solchen Mittel die Erschütterung nach allen Seiten mit gleicher Geschwindigkeit und auf dieselbe Weise fortpflanzt, so fangen Theilchen, die in gleicher Entfernung vom Mittelpuncte der Erschütterung liegen, auch in gleicher Zeit ihre Schwingung an und behalten stets gleiche Phasen der Schwingung.

Dagegen können in einem Mittel von nach verschiedenen Richtungen variirender Elasticität des Äthers die Oberflächen der Wellen andere Gestalten annehmen, weil sich hier die Erschütterung nach verschiedenen Seiten mit ungleicher Geschwindigkeit fortpflanzt.

In einem nach allen Richtungen freien Raume haben die Wellen eine continuirlich fortschreitende Bewegung (worin die Fortpflanzung des Lichtes besteht), d. h. wenn in einem gewissen Augenblicke die Oberfläche einer Welle sich in einem gewissen Abstande vom Mittelpuncte der Erschütterung befand, so wird sie im nächsten Augenblicke um ein wenig vorgerückt sein u. s. f. bis ins Unbestimmte, wobei aber wohl zu bemerken ist, daß in jedem Augenblicke neue Theilchen die Oberfläche der fortschreitenden Welle bilden, indem diese die Theilchen nicht mit fortzieht, sondern so zu sagen nur durch sie hindurchschreitet. Die Fortpflanzung der Wellen ist in der That nichts anders als ein Fortschreiten desselben Bewegungszustandes durch verschiedene successive Theilchen, und während eine vom Mittelpuncte der Erschütterung ausgehende Welle successiv bei allen Theilchen anlangt, die sie im Raume trifft und so den ganzen Raum ausmißt, entfernen sich die Theilchen selbst hiebei nicht weiter von ihrer Stelle, als die kleinen Schwingungen mit sich bringen, die jedes um seinen Ruhepunct macht.

Es ist überhaupt sehr wesentlich, daß man Welle oder Undulation nie mit Schwingung, Vibration oder Oscillation verwechsele, welches, wie aus der angegebenen Definition erhellt, zwei ganz verschiedene Dinge sind. Schwingung bezieht sich auf die Bewegung der einzelnen Theilchen, und ist eine abwechselnd hin- und hergehende oder kreisförmige oder elliptische Bewegung derselben; Welle oder Undulation bezieht sich auf den Bewegungs- oder Schwingungszustand einer Gesammtheit von Theilchen. Besonders aber ist wichtig, die Geschwindigkeit der Wellen oder des Lichtes nicht mit der Geschwindigkeit der Schwingungen der Theilchen selbst zu verwechseln, welche beide ganz unabhängig von einander sind.

Die Geschwindigkeit der Wellen ist in einem Mittel von gleichförmiger Dichtigkeit und Elasticität gleichförmig, d. h. die Oberfläche jeder Welle schreitet in gleichen Zeiten um gleich viel vor; die Geschwindigkeit der Theilchen selbst aber ändert sich von einem Puncte ihrer Bahn zum andern, indem sie an dem Puncte, wo das Theilchen seine größte Ausweichung hat, null ist und von da bis zum Durchgange des Theilchens durch den Ruhepunct oder (bei elliptischer Bewegung) in der größten Nähe beim Ruhepuncte vorbei bis zu einem Maximum wächst. Auch ist die langsamste Fortpflanzung der Wellen mit einer sehr großen Geschwindigkeit der schwingenden Theilchen vereinbar und umgekehrt, da beide von verschiedenen Umständen abhängen.

Bemerkt mag noch werden, daß man Undulation auch öfters statt dessen braucht, was richtiger Undulationslänge oder Wellenlänge genannt wird (s. den folgenden Artikel).

System von Wellen ist die Gesammtheit der von einem Mittelpuncte ausgehenden, durch eine einzige Erschütterung hervorgerufenen und sich nach demselben Gesetz bildenden Wellen.

So bilden alle kugelförmigen Wellen, die in einem gleichförmig dichten und elastischen Äther bei Erschütterung eines Theilchens von ihm ausgehen, zusammen ein einziges System von Wellen.

Es können aber auch um denselben Mittelpunct zwei Wellensysteme zugleich Statt finden. So bildet sich beim Einfalle des Lichtes auf die Oberfläche einariger Krystalle um den Einfallspunct zugleich ein System von kugelförmigen und eins von ellipsoidischen Wellen.

Homologe Wellen. In zwei Wellensystemen nennen wir homologe Wellen diejenigen, die in ihrer Reihenfolge vom Mittelpuncte der Erschütterung an derselben Ordnungszahl entsprechen, so daß z. B. die zweite Welle vom Mittelpuncte an im einen System homolog ist der zweiten Welle im andern System u. s. f.

Ähnliche Wellensysteme sind zwei Wellensysteme, in denen die homologen Wellen in Gestalt und sonstiger Beschaffenheit ganz gleich sind; unähnliche, wo dies nicht der Fall ist. So sind die zwei Wellensysteme, welche sich gleichzeitig um den Einfallspunct auf einem einarigen Krystalle bilden, einander unähnlich; dagegen z. B. zwei ähnliche Wellensysteme um denselben Mittelpunct sich dann bilden und einander folgen würden, wenn er zweimal zu verschiedenen Zeiten erschüttert würde.

Vordere und hintere Wellen. Vordere Wellen nennt man in einem Wellensysteme diejenigen, welche weiter vom Mittelpuncte der Erschütterung abliegen, hintere die, welche näher nach ihm zu liegen. Die vorderste Welle ist zugleich diejenige, welche zuerst entstanden ist, indem sie ihr Fortschreiten vom Mittelpuncte aus zuerst begonnen hat, und sie bleibt stets die vorderste; dagegen die hinterste Welle, wenn sie seit ihrer Entstehung um eine Undulationslänge fortgeschritten ist, eine neue Welle hinter sich erhält, die nun zur hintersten wird.

## Wellenlänge oder Undulationslänge.

Dies ist der lineare Abstand zwischen der innern und äußern Oberfläche einer Welle oder, was dasselbe sagt, die Weite, um welche eine Lichtwelle im Raume fortschreitet, während ein Äthertheilchen eine ganze Schwingung vollendet. Je kürzer daher die Dauer der Schwingungen ist, um so kleiner ist die Undulationslänge. Daher haben die brechbarsten Farben (Violett) die kleinsten Undulationslängen.

Eine Undulationslänge ist das Doppelte der Länge einer Anwandlung nach Newton's Sinne.

## XV. Interferenz oder Zusammensetzung und Zerlegung von Wellen, Stralen oder Schwingungen *).

Wenn zwei Wellen oder zwei Stralen von bestimmter Amplitude und Richtung der Schwingungen in einem und demselben Puncte zusammentreffen, so sagt man: sie oder ihre Schwingungen *interferiren* an diesem Puncte.

Wenn Interferenz zweier Stralen bei einem Äthertheilchen Statt findet, so würde vermöge der Fortpflanzung der Schwingungen längs jedem dieser Stralen, für sich betrachtet, das Äthertheilchen, was sich am Puncte ihres Zusammentreffens findet, in eine Schwingung von einer gewissen Form, Amplitude und Richtung gerathen sein; aus der Zusammensetzung beider gleichzeitig bei demselben Theilchen anlangenden Schwingungsbewegungen entsteht nun aber eine mittlere Schwingungsbewegung von einer neuen Amplitude und Richtung, und es ist Sache der Interferenzregeln, die Amplitude, Richtung und Form der resultirenden Schwingung aus den entsprechenden Bestimmungen der zusammentreffenden oder *interferirenden* Schwingungen abzuleiten.

In der Lichtlehre kommt hauptsächlich die Interferenz von solchen Stralen in Betracht, die von *einer und derselben* Quelle ausgegangen in einem und demselben Puncte unter sehr kleinem Winkel wieder zusammentreffen, oder auch welche, indem ihre Richtung in dieselbe gerade Linie fällt, *in allen ihren Puncten* auf einander fallen oder interferiren.

Ein einfaches Beispiel der Interferenz erster Art giebt der Fall, wenn von einem leuchtenden Puncte aus Stralen zu beiden Seiten eines dünnen Fadens vorbeigehen. Vermöge der Inflexion, welche die auf der einen Seite in der Nähe des Fadens vorbeigehenden Stralen erleiden, können sie mit den von der andern Seite sich ihnen entgegenbeugenden Stralen oder auch selbst mit den in einer kleinen Entfernung vom Faden auf der andern Seite geradlinig fortgehenden Stralen interferiren.

Ein Beispiel der Interferenz zweiter Art giebt ein in sich selbst zurückgeworfener Stral, der senkrecht auf eine durchsichtige Oberfläche auffällt. Hier interferirt nicht nur der von der ersten Oberfläche zurückgeworfene Stral mit dem direct auffallenden, sondern auch der von der zweiten Oberfläche zurückgeworfene, auf seinem Wege zurückkehrende Stral interferirt in allen Puncten sowohl mit dem direct auffallenden als dem von der ersten Oberfläche zurückgeworfenen Strale.

*) Über die Herleitung der im Folgenden zu gebenden Regeln verweise ich auf Herschel's Werk.

überhaupt bietet sich die Interferenz bei Betrachtung der Erscheinungen des Lichtes nach der Undulationstheorie fast auf jedem Schritte dar.

Es verdient bemerkt zu werden, daß, wenn gleichfarbige Stralen an einem Puncte interferiren, zwar die absolute Größe der Phasen in denen sie bei dem Puncte zusammentreffen, sich fortwährend ändern wird, weil jeder Punct, der auf einem Strale liegt, successiv in alle mögliche Phasen, vermöge der Fortpflanzung der Wellenbewegung längs des Strales, treten muß, allein der *Unterschied der Phasen* wird doch constant bleiben, weil vermöge der gleichen Schwingungsdauer und Undulationslänge gleichfarbiger Stralen die Phase des einen sich stets um dieselbe Größe als die des andern ändern wird. Noch mehr, wenn gleichfarbige Stralen durch Übereinanderfallen in ihrer Länge coincidiren, so wird der Phasenunterschied auch für *alle* coincidirenden Puncte der Stralen derselbe sein und bleiben, wenn gleich die absolute Größe der Phasen sich von einem Puncte derselben zum andern und von einem Augenblicke zum andern ändert. Man kann daher den Ausdruck *Phasenunterschied*, der eigentlich zunächst nur auf die einzelnen zusammentreffenden Schwingungen zu beziehen ist, gleich auf die ganzen interferirenden Stralen anwenden; indem man mit *Phasenunterschied zweier Stralen* nichts anderes bezeichnet, als den gemeinschaftlichen und constanten Phasenunterschied ihrer sämmtlichen zusammentreffenden Schwingungen.

Der bei der Interferenz zweier Stralen am meisten in Betracht kommende Erfolg derselben ist die Veränderung, welche in der Summe der Intensitäten der interferirenden Stralen hervorgebracht wird. Zwei Stralen können sich durch ihre Interferenz geradezu vernichten, so daß das am Orte ihres Zusammentreffens befindliche Auge die Empfindung der Dunkelheit erhält, sie können aber auch bei anderen Umständen des Zusammentreffens eine Lichtintensität geben, welche doppelt so groß als die Summe der Intensitäten der interferirenden Stralen ist, und zwischen diesen beiden Gränzen können alle Zwischengrade der Veränderung Statt finden. Man kann leicht finden, unter welchen Umständen die beiden Gränzfälle eintreten müssen.

Wenn von zwei, von demselben Mittelpuncte ausgegangenen, interferirenden Stralen, in denen die Schwingungen gleiche Amplitude haben und in parallelen Richtungen geschehen, der eine mit dem andern, vermöge verschiedener Länge des Weges oder verschiedener Geschwindigkeit des Strales, gerade in entgegengesetzter Phase der Schwingung zusammentrifft, so sind hier zwei gleiche Bewegungszustände in entgegengesetzter Richtung vorhanden, die eine Amplitude und mithin eine Intensität = Null geben. Träfen dagegen diese Schwingungen in derselben Phase zusammen, so würden die Geschwindigkeiten, welche das Äthertheilchen vermöge jeden einzelnen Strales angenommen haben würde, sich zu einander addiren, auch die Amplitude würde zufolge der weiterhin zu gebenden Regeln die doppelte von der jeder Seitenschwingung werden, und da die Intensität dem Qua-

drate der Amplitude proportional ist, so wird in diesem Falle die Intensität des resultirenden Strales das Vierfache von der Intensität jedes Seitenstrales oder das Doppelte von der Summe ihrer Intensitäten betragen.

So wie Stralen, die in einem oder in allen Puncten zusammentreffen, resultirende Schwingungen an den Puncten des Zusammentreffens hervorbringen, deren Beschaffenheit durch die Beschaffenheit der Seitenschwingungen bestimmt wird, so läßt sich umgekehrt jede einfache Schwingung oder jeder einfache Stral als durch Interferenz zweier oder mehrerer Schwingungen oder Stralen hervorgegangen setzen und in solche wieder zerlegt denken. Die Beschaffenheit dieser partiellen oder Seiten-Schwingungen oder Stralen steht dann wiederum in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des ursprünglichen Strales oder der ursprünglichen Schwingung.

Wird ein Stral in mehrere andere zerlegt gedacht, so ist dabei allemal vorausgesetzt, daß sie mit ihm gleiche Richtung haben und in ihrer ganzen Länge übereinanderfallen, während dagegen die Schwingungen in den Seitenstralen je nach der Art der Zerlegung ganz andere Richtungen als in dem zerlegten Strale haben können.

Wir wollen nun im Folgenden zuerst die einfachen Gesetze der Zusammensetzung oder Interferenz und Zerlegung der Stralen in Worten mittheilen, dann die Formeln, welche zu ihrem allgemeinen und bestimmten Ausdrucke dienen, hinzufügen.

## Gesetze der Interferenz und Zerlegung der Lichtschwingungen.

Die Gesetze der Interferenz zweier Schwingungen schließen folgende Hauptbestimmungen ein:

I. Die Bestimmung der Richtung und Geschwindigkeit des Äthertheilchens, das sich am Interferenzpuncte zweier Stralen findet, im Augenblicke des Zusammentreffens derselben.

II. Die Bestimmung der Form, Richtung, Geschwindigkeit, Phase und Amplitude der ganzen resultirenden Schwingungen, wenn die entsprechenden Umstände für die Seitenschwingungen gegeben sind.

### I. Bestimmung der Richtung und Geschwindigkeit des Äthertheilchens, das sich am Interferenzpuncte von Stralen findet, im Augenblicke des Zusammentreffens derselben.

Es gilt in diesem Bezuge folgende Regel:

Stellt man die Geschwindigkeiten, welche das Äthertheilchen vermöge jeder zu ihm gelangenden Wellenbewegung angenommen haben würde, durch die Größe von Linien vor, und setzt diese unter dem Winkel, den die Richtungen der einzelnen Bewegungen mit einander bilden, zu einem Parallelogramm zusammen, so wird die Größe der durch diesen Winkel gelegten Diagonale die Größe, und die Richtung derselben die Richtung der Bewegung des Äthertheilchens geben.

Eben so wie zwei lassen sich auch mehrere Bewegungen, die ein Ätherheilchen vermöge der Interferenz zu ihm gelangender Wellenbewegungen anzunehmen strebt, zu einer einzigen Bewegung zusammensetzen, indem man erst je zwei dieser Bewegungen zu einer einzigen, dann diese wieder mit einer andern zusammensetzt u. s. f., bis alle Bewegungen zu einer einzigen Resultante vereinigt sind.

Wendet man dies auf die Zusammensetzung dreier Bewegungen an, so ergiebt sich dafür die Regel, daß man aus den drei einzelnen Seitenbewegungen ein Parallelepiped bildet, indem man die Seiten desselben den Größen der Seitengeschwindigkeiten proportional nimmt und diese Seiten unter dem Winkel zusammensetzt, welchen die Richtungen der Geschwindigkeiten mit einander bilden; dann wird die resultirende Geschwindigkeit der Größe und Richtung nach durch die Diagonale dieses Parallelepipedes vorgestellt werden.

So wie zwei oder mehrere Bewegungen, die ein Ätherheilchen sollicitiren, zu einer einzigen zusammengesetzt werden können, so läßt sich umgekehrt jede einfach erscheinende Bewegung eines Ätherheilchens als aus dem Zusammentreffen zweier oder mehrerer Seitenbewegungen hervorgehend denken und darein in Gedanken zerlegen. Die häufigste Zerlegungsart in dieser Hinsicht ist die, daß man, wenn sie in bloß zwei Bewegungen geschehen soll, sie in zwei auf einander rechtwinkliche Bewegungen zerlegt, welche die Seiten eines Rechtecks bilden, wozu dieselbe die Diagonale ist, oder wenn sie in drei Bewegungen geschehen soll, sie in drei auf einander rechtwinkliche Bewegungen, welche die Seiten eines Parallelepipedes bilden, zerlegt.

Eine solche Zerlegung in zwei oder drei (oder mehrere) geradlinige Bewegungen kann selbst dann Statt finden, wenn die Bewegung des Ätherheilchens, anstatt selbst geradlinig zu sein, vielmehr kreisförmig oder elliptisch ist. Es wird nämlich das Theilchen dann doch in jedem Puncte seiner Bahn eine gewisse Richtung und Geschwindigkeit haben, die sich nur von einem Puncte der Bahn zum andern ändert, und man wird daher für jeden Punct der Bahn eine neue Zerlegung vorzunehmen haben; ja es findet dies auch bei der geradlinigen Bewegung selbst Statt, denn wiewohl hier die Richtung der Bewegung stets in dieselbe gerade Linie fällt, so ist doch die Geschwindigkeit an jedem Puncte der Bahn verschieden, so daß die Linie, durch welche die zu zerlegende Geschwindigkeit dargestellt wird, von Null bis zum Maximum, durch welches die Geschwindigkeit beim Durchgange durch den Ruhepunct dargestellt wird, variirt, und auch die Richtung dieser Linie muß nach der einen oder entgegengesetzten Seite genommen werden, je nachdem sich das Ätherheilchen in der einen oder entgegengesetzten Richtung bewegt.

Umgekehrt ist daher zu bemerken, daß, wenn gleich nach den vorigen Regeln die aus zwei oder drei Seitenbewegungen resultirende Bewegung ihrer Richtung und Geschwindigkeit nach in jedem Augenblicke als die Diagonale eines Parallelogrammes dargestellt werden kann, doch diese bei der

Interferenz zweier Stralen sich der Größe und Richtung nach in jedem Augenblicke ändern und hieraus eine krummlinige Bewegung resultiren kann. Denn vermöge jedes der interferirenden Stralen für sich würde das Äthertheilchen in den successiven Augenblicken alle möglichen Werthe der Geschwindigkeit von Null bis zum Maximum durchlaufen; und man hat daher in den successiven Augenblicken nicht immer dieselben Geschwindigkeiten zusammenzusetzen. Was für ein Resultat aus dieser, auf die successiven Zeitpuncte ausgedehnten, Zusammensetzung hervorgeht, ist nun in den folgenden Regeln enthalten, welche hauptsächlich zur Regulirung der Erscheinungen dienen.

II. Bestimmung der Form, Richtung, Geschwindigkeit, Phase und Amplitude der ganzen resultirenden Schwingung, wenn die entsprechenden Umstände für die Schwingungen der interferirenden Stralen gegeben sind.

Es gilt zuvörderst die allgemeine Regel, daß, wenn zwei interferirende Stralen sich in der Geschwindigkeit oder Dauer der Schwingungen gleich sind, so wird auch die Geschwindigkeit oder Dauer der resultirenden Schwingungen mit der der Seitenschwingungen übereinstimmen, oder mit anderen Worten, zwei gleichgefärbte interferirende Stralen geben durch Interferenz stets einen Stral von derselben Farbe, wie auch die übrigen Umstände dieser Stralen beschaffen sein mögen.

Wir wollen uns nun im Folgenden auf die Darstellung der Interferenzgesetze gleichfarbiger geradlinig polarisirter Stralen, d. h. in denen die Schwingungen mit gleicher Schnelligkeit und in geraden (in jedem Strale unter sich parallelen) Richtungen geschehen, beschränken, da bis jetzt fast bloß diese bei Analyse der Erscheinungen in Betracht gezogen worden sind und zur Repräsentirung der meisten Erscheinungen ausreichen *).

Interferenzregeln für gleich schnelle, parallele geradlinige Schwingungen von verschiedener Amplitude, die in ungleicher Phase zusammentreffen, oder, mit anderm Ausdruck:

Interferenzregeln für ähnliche, d. s. gleichfarbige, in derselben Ebene polarisirte, Stralen von im Allgemeinen verschiedener Intensität und welche von ihrem gemeinschaftlichen Ursprunge an bis zu ihrem Zusammentreffen ungleiche Wege, oder auch gleiche Wege mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchlaufen haben.

Um aus der Amplitude und Phase zweier interferirender Stralen dieser Art die Amplitude und Phase des resultirenden Strales zu finden, gilt folgende Regel:

Man construire ein Parallelogramm, dessen anliegende Seiten den Amplituden der Seitenstralen (d. h. ihrer Schwingungen) proportional sind,

*) Neuerdings fängt indeß auch die Interferenz circulär- und elliptisch polarisirter Stralen an wichtig zu werden.

und wo der von ihnen eingeschlossene Winkel dem Unterschiede ihrer Phasen oder ihres Ursprunges gleich ist; dann giebt die, durch diesen Winkel gelegte, Diagonale dieses Parallelogrammes die Amplitude des resultirenden Strales, und der von ihr und jeder Seite eingeschlossene Winkel giebt den Unterschied zwischen seiner Phase und dem des entsprechenden Seitenstrales, oder, was dasselbe ist, den Unterschied des Ursprunges derselben.

Wenn der Phasen- oder Ursprungsunterschied zweier Stralen null ist oder 180° beträgt, so scheint die vorige Regel ihre Anwendbarkeit zu verlieren, weil die Seiten des zu bildenden Parallelogrammes dann in eine und dieselbe Linie, entweder nach gleicher oder nach direct entgegengesetzter Richtung fallen, mithin kein Parallelogramm daraus gebildet werden kann. Aus dem analytischen Ausdrucke der Regel aber ergiebt sich, daß ihr für diese Fälle folgende Bestimmungen substituirt werden können.

Die Amplitude des resultirenden Strales ist gleich der Summe oder gleich der Differenz der Amplituden der Seitenstralen, je nachdem der Phasenunterschied derselben 0 oder 180° ist.

Die Phase des resultirenden Strales stimmt mit der Phase beider oder mit der Phase eines der beiden Seitenstralen überein, je nachdem der Phasenunterschied dieser Stralen 0 oder 180° ist.

Einfach hieraus abzuleitende Folgerungen sind nachstehende:

1) Die Intensität des resultirenden Strales ist gleich der Summe der Intensitäten der Seitenstralen, wenn der Phasenunterschied dieser Stralen $\frac{1}{4}$ Undulation oder 90° beträgt.

2) Sie ist gleich dem Doppelten der Summe der partiellen Intensitäten, wenn beide interferirende Stralen (im Puncte des Zusammentreffens) in den Phasen übereinstimmen.

3) Sie ist gleich Null, wenn beide sich in entgegengesetzten Phasen der Undulation treffen, d. h. wenn ihr Phasenunterschied 180° beträgt.

4) Sie ist kleiner als die Summe, wenn der Ursprung der Stralen um weniger als $\frac{1}{4}$ Undulation verschieden ist, größer, wenn der Unterschied zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$ liegt, wieder kleiner, wenn der Unterschied zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ enthalten ist u. s. f.

Nun werden sich zwei ähnliche Stralen, die von demselben Mittelpuncte mit gleicher Geschwindigkeit ausgegangen sind, in gleichen Phasen dann treffen, wenn der Unterschied der Wege, die sie bis zum Interferenzpuncte durchlaufen haben, entweder null oder einer beliebigen Anzahl ganzer Undulationslängen (oder, was dasselbe sagt, einer beliebigen paaren Anzahl halber Undulationslängen) gerade gleich ist. In diesen Fällen also bringt die Interferenz ein Licht hervor, dessen Intensität doppelt so groß ist, als die Summe der Intensitäten des interferirenden Lichtes.

Andererseits werden sich diese Stralen in gerade entgegengesetzten Phasen treffen, wenn ihr Wegesunterschied $\frac{1}{2}$ Undulationslänge oder überhaupt eine beliebige unpaare Anzahl von halben Undulationslängen beträgt.

In diesen Fällen werden sich die Stralen, wie man sagt, vernichten, d. h. die aus der Interferenz resultirende Intensität des Lichtes wird null sein.

In den Fällen, wo der Wegesunterschied weder einer paaren, noch einer unpaaren Anzahl halber Undulationslängen gleich ist, wird die resultirende Intensität Mittelgrade zwischen diesen beiden Gränzen zeigen.

So wie zwei ähnliche Stralen sich durch Interferenz zu einem einzigen Strale vereinigen, dessen Beschaffenheit nach der vorigen Regel bestimmt wird, so kann auch umgekehrt jeder einfach erscheinende Stral als durch Interferenz zweier anderen, die verschiedenen Ursprung und verschiedene Amplitude haben, entstanden gedacht oder darein in Gedanken zerlegt werden, indem man dabei ganz dieselben Regeln anwendet, welche in der Mechanik bei Zerlegung der Kräfte gebraucht werden; denn wie leicht erhellt, ist die vorige Regel ganz der Zusammensetzung der Kräfte nach der Regel des Parallelogrammes der Kräfte analog, und eben so die Zerlegung.

So kann man sich z. B. jeden einfach erscheinenden Stral zerlegt denken in zwei ähnliche, deren jeder die halbe Intensität desselben hat, und deren Ursprung um $\frac{1}{4}$ Undulation von einander verschieden ist.

Allgemein kann man einen Stral in zwei andere ähnliche von beliebiger Intensität zerlegen, indem man ihm einen gehörigen Phasenunterschied beilegt, oder umgekehrt in zwei Stralen von beliebigem Phasenunterschied, indem man ihm eine gehörige Intensität beilegt. Anstatt also z. B. einen Stral in zwei ähnliche von gleicher Intensität zu zerlegen, könnte man ihn auch in zwei zerlegen, deren einer $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ oder einen beliebigen Bruchtheil der Intensität des andern hätte, wenn man ihnen einen solchen Phasenunterschied beilegte, daß sie bei Zusammensetzung nach der obigen Regel wieder den ursprünglichen Stral geben.

So wie zwei ähnliche Stralen zu einem einzigen zusammengesetzt oder ein Stral in zwei zerlegt werden kann, so können auch eine beliebige Anzahl ähnlicher Stralen zu einem einzigen zusammengesetzt oder ein Stral in eine beliebige Anzahl zerlegt werden, indem man nämlich von allen Stralen erst zwei zu einem einzigen, dann diese wieder mit einem der übrigen u. s. f. zusammensetzt, oder indem man einen Stral erst in zwei zerlegt, dann einen oder jeden dieser Stralen in zwei neue u. s. f.

*Interferenzregeln für geradlinige gleich schnelle Schwingungen, welche in gleicher Phase zusammentreffen, aber im Allgemeinen ungleiche Amplitude haben und unter Winkeln gegen einander geneigt sind;*

oder mit anderm Ausdruck:

*Interferenzregeln für gleichfarbige, geradlinige aber in verschiedenen Ebenen polarisirte, Stralen von im Allgemeinen ungleicher Intensität, welche einen gleichen Weg von ihrem gemeinschaflichen Ursprunge an bis zum Puncte des Zusammentreffens (mit gleicher Geschwindigkeit) zurückgelegt haben.*

Zwei Schwingungen dieser Art lassen sich nach der Regel des Parallelogrammes der Kräfte zusammensetzen, indem man ihre Amplituden, durch entsprechende lineare Längen vorgestellt, unter dem Winkel, den ihre Richtungen mit einander bilden, zusammensetzt und das Parallelogramm vollendet, wo dann die Diagonale dieses Parallelogrammes die Größe und Richtung der resultirenden Schwingung vorstellen wird.

Auf ähnliche Weise läßt sich die aus drei dergleichen Schwingungen resultirende Schwingung durch die Diagonale eines Parallelepipedes vorgestellt denken, dessen drei anliegende Seiten in Länge und Richtung der Größe und Richtung der Seitenschwingungen entsprechen. Sind noch mehr solcher Schwingungen zusammenzusetzen, so geschieht es durch successive Zusammensetzung auf ähnliche Weise als S. 376.

Jedenfalls ist die auf solche Weise entstehende resultirende Schwingung wieder eine geradlinige, deren Phase mit der Phase der Seitenschwingungen übereinstimmt, und man kann daher umgekehrt jede geradlinige Schwingung in zwei oder drei (oder mehrere) andere geradlinige Schwingungen zerlegen, die in Größe und Richtung die Seiten eines Parallelogrammes oder Parallelepipedes vorstellen, wozu die ursprüngliche Schwingung die Diagonale ist und die in der Phase mit ihr übereinstimmen.

Zerlegungen und Zusammensetzungen dieser Art werden bei Betrachtung der Interferenzerscheinungen sehr häufig vorgenommen, und zwar pflegt die Zerlegung fast allgemein in zwei oder drei **auf einander rechtwinkliche** Schwingungen zu geschehen, wo sich dann die Amplitude jeder Seitenschwingung zu der der mittlern wie der Cosinus des Winkels, den die Richtung der mittlern Schwingung mit ihr bildet, verhält.

**Interferenzregeln für auf einander senkrechte geradlinige gleich schnelle Schwingungen, welche im Allgemeinen ungleiche Amplitude haben und in verschiedener Phase zusammentreffen;**

oder mit anderm Ausdruck:

**Interferenzregeln für gleichfarbige, senkrecht auf einander polarisirte Stralen, im Allgemeinen von verschiedener Intensität, die einen gewissen Wegesunterschied haben.**

1) Wenn zwei auf einander rechtwinkliche gleichfarbige geradlinige Schwingungen interferiren, so ist die resultirende Schwingung im Allgemeinen eine elliptische. Die Größe und Richtung beider Axen dieser Ellipse hängt von den Amplituden und dem Phasenunterschiede der Seitenschwingungen ab und wird durch die später beizufügenden Formeln bestimmt werden. Jedenfalls ist die Summe der Quadrate der Halbaxen der elliptischen Schwingung gleich der Summe der Quadrate der Amplituden der Seitenschwingungen.

2) Die elliptische Schwingung verwandelt sich in eine **kreisförmige**, wenn der Phasenunterschied beider auf einander rechtwinklicher Schwingungen 90° beträgt und zugleich ihre Amplituden gleich sind.

5) Die elliptische Schwingung verwandelt sich in eine geradlinige dann und nur dann, wenn der Phasenunterschied beider Stralen 0 oder 180° ist, wie auch ihre respectiven Amplituden beschaffen sein mögen, wodurch dieser Fall unter den der vorigen Regel zurückkommt.

Umgekehrt läßt sich daher nicht nur jede geradlinige (welcher Fall schon S. 380 betrachtet worden), sondern auch jede kreisförmige oder elliptische Schwingung in zwei auf einander senkrechte geradlinige Schwingungen zerlegen.

Im Fall die zerlegte Schwingung geradlinig ist, ist der Phasenunterschied der auf einander rechtwinklichen Seitenschwingungen null; ihre Amplituden verhalten sich zu der Amplitude der zerlegten mittlern Schwingung respectiv wie die Cosinusse der Winkel, die ihre Richtung mit der der mittlern bildet, zu Eins, und die Summe der Quadrate der Amplituden der Seitenschwingungen (die Summe der Intensitäten der interferirenden Stralen) ist dem Quadrate der mittlern Schwingung (der Intensität des zerlegten Strales) gleich.

Im Fall die zerlegte Schwingung kreisförmig ist, beträgt der Phasenunterschied der auf einander rechtwinklichen Seitenschwingungen 90° oder $\frac{1}{4}$ Undulation; ihre Amplituden sind einander gleich und die Amplitude jeder Seitenschwingung ist gleich dem Radius des Kreises.

Im Fall die zu zerlegende Schwingung elliptisch ist, kann die Zerlegung in zwei auf einander rechtwinkliche Schwingungen von beliebigem Phasenunterschiede, wofern nur dieser nicht 0 oder 90 oder 180° ist, geschehen, und je nachdem man den Phasenunterschied wählt, werden sich die Größen der Amplituden der Seitenschwingungen ändern.

So wie zwei auf einander rechtwinkliche Schwingungen sich im allgemeinen Falle zu einer elliptischen Schwingung zusammensetzen, so ist dasselbe auch mit drei auf einander rechtwinklichen Schwingungen der Fall; daher sich auch umgekehrt jede elliptische Schwingung in drei auf einander rechtwinkliche geradlinige Schwingungen zerlegen läßt, wozu jedoch ebenfalls die Regeln nur durch Formeln ausgedrückt werden können.

Interferenzregeln für gleich schnelle geradlinige Schwingungen, welche in verschiedener Richtung und in verschiedenen Phasen zusammentreffen;

oder mit anderm Ausdruck:

Interferenzregeln für gleichfarbige, aber sonst unähnliche Stralen.

Wie viele solcher Stralen auch mit einander interferiren mögen, und in welchen Richtungen dies geschehen mag, so läßt sich doch das Resultat ihrer Interferenz jedenfalls auf das der Interferenz bloß dreier, oder, im Fall die Schwingungen sämmtlich in derselben Ebene geschehen, auf den Fall bloß zweier, auf einander rechtwinklicher, Schwingungen von verschiedenen Phasen, d. h. auf den vorigen Fall, reduciren, und wir haben daher nur anzugeben, wie diese Reduction vorzunehmen ist.

Man substituire zuerst jeder einzelnen der interferirenden Schwingungen zwei oder drei andere, die nach den zwei oder drei (beliebig gewählten) rechtwinklichen Richtungen gehen, indem man sie nach den mitzutheilenden Formeln darein zerlegt. Solchergestalt wird man für jede der zwei oder drei rechtwinklichen Richtungen eine Summe von so viel Schwingungen (im Allgemeinen ungleicher Phase) erhalten, als interferirende Schwingungen vorhanden waren.

Jede Summe für sich setze man nun wieder nach den unter 1) gegebenen Regeln zu einer einzigen Schwingung zusammen.

Auf solche Weise werden definitiv bloß zwei oder drei auf einander rechtwinkliche einfache Schwingungen im Allgemeinen von verschiedener Phase zu betrachten übrig bleiben, für deren Interferenz wir die Formeln im Folgenden mittheilen wollen.

### Formeln für Zusammensetzung und Zerlegung gleichfarbiger (gleich schneller), in derselben Ebene vor sich gehender, Schwingungen *).

Der Kürze halber nennen wir im Folgenden eine gradlinige Schwingung von der Amplitude a oder b schlechthin die Schwingung a oder b; und die Richtung der Schwingung von der Amplitude a oder b die Richtung a oder b. Ferner werden wir uns statt des Ausdruckes elliptischer Schwingungen öfters des bloßen Ausdruckes Ellipse bedienen. Unter Amplitude ist bei gradliniger Schwingung die größte Ausweichung des Äthertheilchens vom Ruhepuncte, also die halbe Ausdehnung der ganzen Oscillation verstanden. Der Bezug der Amplitude zur Intensität ist S. 362 angegeben worden.

*) Die Herleitung der weiterhin folgenden allgemeinern, aus den schon bekannten Interferenzformeln, ist von mir auf folgende Weise geschehen. Um zwei, einen beliebigen Winkel mit einander bildende, geradlinige Schwingungen von beliebigem Phasenunterschiede zu einer elliptischen Schwingung zusammenzusetzen, wurde jede von den beiden geradlinigen Schwingungen zuvörderst nach (denselben) zwei auf einander rechtwinklichen Schwingungen zerlegt und solchergestalt vier Schwingungen erhalten, von denen zwei von verschiedener Phase nach der einen, zwei ebenfalls von verschiedener Phase nach der darauf senkrechten Richtung gehen. Die zwei, in dieselbe Richtung fallenden, Schwingungen wurden nun jederseits für sich zusammengesetzt und so durch diese beiden Zusammensetzungen zwei auf einander rechtwinkliche Schwingungen von verschiedener Phase erhalten, deren Zusammensetzung zu einer elliptischen Schwingung dann nach schon bekannten Formeln ausgeführt ward. Auf analoge Weise wurden die Formeln für Zusammensetzung zweier kreisförmiger, oder einer kreisförmigen und einer geradlinigen Schwingung gefunden, indem jede Seitenschwingung erst in zwei auf einander rechtwinkliche Schwingungen zerlegt ward u. s. f. Die Formeln für Zerlegung ergeben sich aus den Formeln für Zusammensetzung, indem man die hier als gegeben angenommenen Größen als gesucht setzt und umgekehrt. Eine weitere Entwickelung der Interferenzformeln und Ableitung der interessantesten Folgerungen daraus behalte ich mir für ein anderesmal vor. — Was die schon bekannten Interferenzformeln betrifft, so findet man sie theils oben wieder mitgetheilt, theils kann man darüber vergleichen Herschel's Werk S. 320 und Pogg. XXIII. 271.

Die Phase einer geradlinigen Schwingung ist allemal von der Stelle des Maximums der Excursion an gerechnet, die einer elliptischen Schwingung von dem einen Ende der großen Axe. Bei einer kreisförmigen Schwingung ist der Anfang der Phase willkürlich bestimmt.

Bei Anwendung von Polcoordinaten zur Bestimmung des Ortes des Ätherthellchens im Augenblicke der Interferenz ist der Anfang des Radius vector p oder P jedesmal im Mittelpuncte der Schwingung oder dem Ruhepuncte angenommen.

1) Zusammensetzung zweier paralleler (oder in der Richtung zusammenfallender) geradliniger Schwingungen von beliebigen Phasen.

Die resultirende Schwingung ist wieder geradlinig und von gleicher Richtung mit den Seitenschwingungen.

Es seien gegeben:

a, a′ die Amplituden beider Seitenschwingungen;
$\alpha$ und $\alpha'$ die Phasen respectiv von a und a′;
$\zeta = \alpha - \alpha'$, der Phasenunterschied beider Seitenschwingungen.

Es werden gesucht:

A die Amplitude der resultirenden Schwingung;
$\aleph$ die Phase der resultirenden Schwingung;
$\vartheta = \alpha - \aleph$, der Phasenunterschied der resultirenden Schwingung von der Schwingung a;
$\vartheta' = \aleph - \alpha'$, der Phasenunterschied der resultirenden Schwingung von der Schwingung a′.

Man hat:

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2aa' \cos\zeta \qquad (1)$$

$$\sin\aleph = \frac{a\sin\alpha + a'\sin\alpha'}{A}; \quad \cos\aleph = \frac{a\cos\alpha + a'\cos\alpha'}{A} \qquad (2)$$

$$\operatorname{tang}\aleph = \frac{a\sin\alpha + a'\sin\alpha'}{a\cos\alpha + a'\cos\alpha'} \qquad (3)$$

$$\sin\vartheta = \frac{a'\sin\zeta}{A}; \quad \cos\vartheta = \frac{a + a'\cos\zeta}{A} \qquad (4)$$

$$\sin\vartheta' = \frac{a\sin\zeta}{A}; \quad \cos\vartheta' = \frac{a' + a\cos\zeta}{A} \qquad (5)$$

(Es ist nöthig, von $\aleph$, $\vartheta$, $\vartheta'$ sowohl Sinus als Cosinus mitzutheilen, um die Wahl zwischen dem doppelten Werthe, den jeder Sinus oder Cosinus für seinen zugehörigen Winkel zuläßt, zu bestimmen).

2) Zerlegung einer geradlinigen Schwingung in zwei andere geradlinige Schwingungen, welche mit ihr parallel oder gleich gerichtet sind.

Die Buchstaben mögen dieselbe Bedeutung als unter 1) haben, so daß A, $\aleph$ sich auf die totale oder zu zerlegende Schwingung, a, a′, $\alpha$, $\alpha'$ sich auf die Seitenschwingungen, in welche die Zerlegung erfolgen soll, beziehen.

Die Zerlegung kann auf 4 verschiedene Weisen geschehen:

a) in zwei Seitenschwingungen von beliebig gegebener Phase, wo dann bloß die Amplituden derselben zu suchen sind;

b) in zwei Seitenschwingungen von beliebig gegebener Amplitude, wo bloß die Phasen derselben zu suchen sind;

c) in zwei Seitenschwingungen, bei deren einer die Amplitude und Phase gegeben ist, so daß sie bloß bei der andern zu suchen ist;

d) in zwei Seitenschwingungen, bei deren einer die Amplitude, aber nicht die Phase, bei der andern die Phase aber nicht die Amplitude gegeben ist.

a) Zerlegung in zwei Seitenschwingungen von gegebener Phase.

Gegeben: $A$, $\aleph$, $\alpha$, $\alpha'$, $\vartheta$, $\vartheta'$, $\zeta$; gesucht: $a$, $a'$.

Man hat:

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{A \sin(\aleph - \alpha')}{\sin(\alpha - \alpha')} = \frac{A \sin \vartheta'}{\sin \zeta} \\ a' &= \frac{A \sin(\alpha - \aleph)}{\sin(\alpha - \alpha')} = \frac{A \sin \vartheta}{\sin \zeta} \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

b) Zerlegung in zwei Seitenschwingungen von gegebener Amplitude.

Gegeben: $A$, $\aleph$, $a$, $a'$; gesucht: $\zeta$, $\vartheta$, $\vartheta'$, $\alpha$, $\alpha'$.

Man hat:

$$\cos\zeta = \frac{A^2 - a^2 - a'^2}{2aa'}; \quad \sin\zeta = \pm\sqrt{1 - \cos^2\zeta} \quad (7)$$

$$\cos\vartheta = \frac{A^2 + a^2 - a'^2}{2Aa}; \quad \sin\vartheta = \frac{a' \sin\zeta}{A} \quad (8)$$

$$\cos\vartheta' = \frac{A^2 + a'^2 - a^2}{2Aa'}; \quad \sin\vartheta' = \frac{a \sin\zeta}{A} \quad (9)$$

$$\alpha = \aleph + \vartheta; \quad \alpha' = \aleph - \vartheta'$$

Das doppelte Vorzeichen des Werthes von $\sin\zeta$ entspricht zwei möglichen Auflösungen. Damit die Zerlegung überhaupt möglich sei, muß $A$ kleiner als $a + a'$ sein, sonst würde man $\cos\zeta > 1$ finden.

c) Zerlegung in zwei Seitenschwingungen, bei denen Amplitude und Phase bloß für eine Schwingung gegeben ist.

Gegeben: $A$, $\aleph$, $a$, $\alpha$, $\vartheta$; gesucht: $a'$, $\vartheta'$, $\zeta$, $\alpha'$.

Man hat:

$$a'^2 = A^2 + a^2 - 2aA\cos\vartheta \quad (10)$$

$$\sin\vartheta' = \frac{a}{a'}\sin\vartheta; \quad \cos\vartheta' = \frac{A - a\cos\vartheta}{a'} \quad (11)$$

$$\sin\zeta = \frac{A}{a'}\sin\vartheta; \quad \cos\zeta = \frac{A\cos\vartheta - a}{a'} \quad (12)$$

$$\alpha' = \aleph - \vartheta \quad (13)$$

d) Zerlegung in zwei Seitenschwingungen, bei deren einer die Amplitude, bei der andern die Phase gegeben ist.

Gegeben: $A$, $\aleph$, $a$, $\alpha'$, $\vartheta'$; gesucht: $a'$, $\alpha$, $\vartheta$, $\zeta$.

Man hat:

$$a' = A \cos \vartheta' \pm \sqrt{a^2 - A^2 \sin^2 \vartheta'} \quad (14)$$

$$\sin \vartheta = \frac{a' \sin \vartheta'}{a}; \quad \cos \vartheta = \frac{A - a' \cos \vartheta'}{a} \quad (15)$$

$$\sin \zeta = \frac{A \sin \vartheta'}{a}; \quad \cos \zeta = \frac{A \cos \vartheta' - a'}{a} \quad (16)$$

$$\alpha = \varkappa + \vartheta \quad (17)$$

Das doppelte Vorzeichen im Werthe von a' entspricht zwei möglichen Auflösungen.

3) Zusammensetzung zweier, einen beliebigen Winkel mit einander bildenden, geradlinigen Schwingungen von gleicher Phase.

Die resultirende Schwingung ist jedenfalls wieder geradlinig und von gleicher Phase mit den Seitenschwingungen.

Gegeben: m und n die Amplituden beider Seitenschwingungen;
$\mu$ und $\nu$ die Winkel ihrer Richtungen mit einer gegebenen fixen Richtung, nach derselben Seite von dieser fixen Richtung an gezählt;
$\delta = \mu - \nu$ ihr gegenseitiger Neigungswinkel.

Gesucht: M die Amplitude der resultirenden Schwingung;
$\mathfrak{M}$ der Winkel ihrer Richtung mit der gegebenen fixen Richtung, nach derselben Seite als $\mu$ und $\nu$ gezählt;
$\varepsilon = \mu - \mathfrak{M}$ der Winkel ihrer Richtung mit der Richtung der Seitenschwingung m;
$\varepsilon' = \mathfrak{M} - \nu$ der Winkel ihrer Richtung mit der Richtung der Seitenschwingung n.

Man hat zur Bestimmung von M, $\mathfrak{M}$, $\varepsilon$, $\varepsilon'$ ganz dieselben Formeln, als unter 1), wenn man den Buchstaben, die in den dort gegebenen Formeln vorkommen, respectiv die hier darunter gesetzten substituirt:

A. a. a'. $\alpha$. $\alpha'$. $\vartheta$. $\vartheta'$. $\varkappa$. $\zeta$.
M. m. n. $\mu$. $\nu$. $\varepsilon$. $\varepsilon'$. $\mathfrak{M}$. $\delta$.

4) Zerlegung einer geradlinigen Schwingung in zwei andere, einen beliebigen Winkel damit bildende von gleicher Phase.

Wenn die Buchstaben m, n, M ꝛc. dieselbe Bedeutung haben als unter 3), so hat man zu Bestimmung der gesuchten Größen ganz dieselben Formeln als unter 2), wenn man wiederum den Buchstaben, die in den dort gegebenen Formeln vorkommen, die wie oben darunter gesetzten substituirt.

5) Zusammensetzung zweier auf einander rechtwinklicher geradliniger Schwingungen von beliebigen Phasen.

Die resultirende Schwingung ist im Allgemeinen eine elliptische, die jedoch unter besondern Verhältnissen sich auf eine geradlinige oder kreisförmige reduciren kann.

Der Ort des Ätherttheilchens in seiner Bahn im Augenblicke der Interferenz kann entweder durch rechtwinkliche Coordinaten x, y, oder durch Polcoordinaten p, $\varphi$, oder durch die Phase Q bestimmt werden.

Directe Drehung des Ätherttheilchens heiße die, wo das Theilchen sich in der Richtung von den positiven x nach den positiven y hinbewegt, oder nach derselben Richtung, nach welcher der Winkel $\varphi$ gezählt wird; umgekehrte Drehung die, wo die Drehung in der Richtung von den positiven x nach den negativen y erfolgt, oder in entgegengesetzter Richtung, als nach welcher $\varphi$ gezählt wird.

Gegeben: a und b die Amplituden beider Seitenschwingungen;
$\alpha$ und $\beta$ ihre respectiven Phasen;
$\gamma = \alpha - \beta$ ihr Phasenunterschied.

Gesucht: r und r' die halbe große und die halbe kleine Axe der resultirenden Ellipse;
$i^2 = r^2 + r'^2$ die Intensität der resultirenden Ellipse;
$\psi$ der kleinste der beiden positiven Winkel, welche die große Halbaxe mit der Richtung a, und mithin die kleine Halbaxe mit der darauf senkrechten Richtung b macht, nach derselben Seite gezählt als $\varphi$ und $\varphi'$;
x und y die rechtwinklichen Coordinaten des Ätherttheilchens, den Ruhepunct als Anfang gesetzt, und die positive Axe der x in die Richtung a, die positive Axe der y in die Richtung b nach der Seite fallend gedacht, wo der Anfang der Schwingungen a und b angenommen wird.
p der Radius vector der Ellipse;
$\varphi$ der Winkel, den der Radius vector der Ellipse mit der Richtung der positiven x nach der Seite der positiven y macht;
$\varphi'$ der Winkel, den der Radius vector der Ellipse nach derselben Seite mit der großen Halbaxe macht;
q die Phase der Ellipse;
Die Gleichung der Ellipse in rechtwinklichen Coordinaten x, y, oder Polcoordinaten p, $\varphi$ oder p, $\varphi'$.
Die Richtung der erfolgenden Drehung.
Zu bemerken ist, daß a, a', p stets positiv sind.

### Größe und Lage der Ellipsenaxen.

$$\left.\begin{aligned} r^2 &= \frac{a^2 + b^2}{2} + \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)^2 + 4a^2 b^2 \cos^2 \gamma}}{2} \\ r'^2 &= \frac{a^2 + b^2}{2} - \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)^2 + 4a^2 b^2 \cos^2 \gamma}}{2} \end{aligned}\right\} \quad (18)$$

oder, wenn man $\psi$ schon nach den unten folgenden Formeln bestimmt hätte:

$$\left.\begin{aligned} r^2 &= \frac{a^2 + b^2}{2} + \frac{a^2 - b^2}{2\cos 2\psi} \\ r'^2 &= \frac{a^2 + b^2}{2} - \frac{a^2 - b^2}{2\cos 2\psi} \end{aligned}\right\} \quad (19)$$

$$i^2 = a^2 + b^2 \quad (20)$$

$$\sin 2\psi = \frac{2ab\cos\gamma}{r^2 - r'^2};\ \cos 2\psi = \frac{a^2 - b^2}{r^2 - r'^2} \quad (21)$$

$$\tang 2\psi = \frac{2ab\cos\gamma}{a^2 - b^2} \quad (22)$$

### Coordinaten, Phase und Drehungsrichtung der elliptischen Schwingung.

$$x = a\cos\alpha;\ y = b\cos\beta \quad (23)$$

$$p^2 = a^2\cos^2\alpha + b^2\cos^2\beta \quad (24)$$

$$\sin\varphi = \frac{b\cos\beta}{p};\ \cos\varphi = \frac{a\cos\alpha}{p} \quad (25)$$

$$\tang\varphi = \frac{b\cos\beta}{a\cos\alpha} \quad (26)$$

$$\varphi' = \varphi - \psi \quad (27)$$

$$\sin q = \frac{a\cos\psi\sin\alpha + b\sin\psi\sin\beta}{t} = \frac{p}{r'}\sin\varphi' \quad (28)$$

$$\cos q = \frac{a\cos\psi\cos\alpha + b\sin\psi\cos\beta}{t} = \frac{p}{r}\cos\varphi' \quad (29)$$

$$\tang q = \frac{a\cos\psi\sin\alpha + b\sin\psi\sin\beta}{a\cos\psi\cos\alpha + b\sin\psi\cos\beta} = \frac{r}{r'}\tang\varphi' \quad (30)$$

worin t ein positiver Werth ist, der durch folgende Gleichung bestimmt wird:

$$t^2 = a^2\cos^2\psi + b^2\sin^2\psi + ab\sin 2\psi\cos(\alpha - \beta) \quad (31)$$

Die Drehung ist **direct**, wenn $\alpha - \beta$ positiv und zugleich $< 180°$; desgleichen, wenn $\beta - \alpha$ positiv und zugleich $> 180°$.

Die Drehung ist **umgekehrt**, wenn $\alpha - \beta$ positiv und zugleich $> 180°$; desgleichen, wenn $\beta - \alpha$ positiv und zugleich $< 180°$.

Ist $\alpha - \beta = 0$ oder $= \pm 180°$, so wird die Schwingung geradlinig, und es ist keine entgegengesetzte Drehung mehr zu unterscheiden.

Die Regeln wegen der Richtung der Drehung lassen sich einfacher auch so aussprechen:

Die Drehung ist **direct**, wenn $\sin(\alpha - \beta)$ **positiv** ist, dagegen **umgekehrt**, wenn $\sin(\alpha - \beta)$ negativ ist.

### Gleichung der Ellipse.

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 - \frac{2xy}{ab}\cos\gamma = \sin^2\gamma \quad (32)$$

$$\text{oder } p^2 = \frac{a^2 b^2 \sin^2\gamma}{a^2\sin^2\varphi + b^2\cos^2\varphi - ab\sin 2\varphi\cos\gamma} \quad (33)$$

oder $p^2 =$

$$\frac{a^2 b^2 \sin^2\gamma}{a^2\sin^2(\varphi' + \psi) + b^2\cos^2(\varphi' + \psi) - ab\sin 2(\varphi' + \psi)\cos\gamma} \quad (34)$$

Die Schwingung wird geradlinig, wenn $\sin\gamma = 0$; kreisförmig, wenn $a = b$ und zugleich $\sin\gamma = 1$.

6) Zerlegung einer elliptischen Schwingung in zwei auf einander senkrechte geradlinige Schwingungen.

Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung als unter 5); die Gleichung der Ellipse in Polcoordinaten ist gegeben durch:

$$p^2 = \frac{r^2 r'^2}{r^2 \sin^2 \varphi' + r'^2 \cos^2 \varphi'} \qquad (35)$$

Damit die Zerlegung unabhängig von der Phase eine bestimmte sei, muß außer $r$, $r'$, $\varphi'$ noch gegeben sein eine der folgenden Größen: $\psi$, $\gamma$, $a$, $b$. Hiedurch ergeben sich folgende Zerlegungsweisen:

a) Zerlegung in zwei Seitenschwingungen von gegebenem Winkel mit den Axen.

Gegeben: der Winkel $\psi$, außerdem $r$, $r'$, $\varphi'$, $q$, $p$.
Gesucht: $a$, $b$, $\gamma$, $\alpha$, $\beta$, $\varphi$.

$$a^2 = r^2 \cos^2 \psi + r'^2 \sin^2 \psi = \frac{r^2 + r'^2}{2} + \frac{(r^2 - r'^2) \cos 2\psi}{2} \qquad (36)$$

$$b^2 = r^2 \sin^2 \psi + r'^2 \cos^2 \psi = \frac{r^2 + r'^2}{2} - \frac{(r^2 - r'^2) \cos 2\psi}{2} \qquad (37)$$

$$\cos \gamma = \frac{(a^2 - b^2) \operatorname{tang} 2\psi}{2ab} = \frac{(r^2 - r'^2) \sin 2\psi}{\sqrt{(r^2 + r'^2)^2 - (r^2 - r'^2)^2 \cos^2 2\psi}} \qquad (38)$$

$$\cos \alpha = \frac{p \cos(\varphi' + \psi)}{a} = \frac{r \cos q \cos \psi - r' \sin q \sin \psi}{a} \qquad (39)$$

$$\cos \beta = \frac{p \sin(\varphi' + \psi)}{b} = \frac{r' \sin q \cos \psi + r \cos q \sin \psi}{b} \qquad (40)$$

$$\varphi = \varphi' + \psi \qquad (41)$$

Die Phasen $\alpha$ und $\beta$, so wie ihr Unterschied $\gamma$, sind jede eines doppelten Werthes fähig, je nachdem man $\sin \alpha$, $\sin \beta$, $\sin \gamma$ positiv oder negativ nimmt.

Für den Fall, daß $\psi = 0$, hat man: $a = r$, $b = r'$, $\gamma = 90°$.

b) Zerlegung in zwei Seitenschwingungen von gegebenem Phasenunterschiede.

Gegeben: der Phasenunterschied $\gamma$, außerdem $r$, $r'$, $\varphi'$, $q$, $p$.
Gesucht: $a$, $b$, $\psi$, $\alpha$, $\beta$.

$$a^2 = \frac{r^2 + r'^2}{2} \pm \frac{\sqrt{(r^2 + r'^2)^2 - 4 r^2 r'^2 \operatorname{cosec}^2 \gamma}}{2} \qquad (42)$$

$$b^2 = \frac{r^2 + r'^2}{2} \mp \frac{\sqrt{(r^2 + r'^2)^2 - 4 r^2 r'^2 \operatorname{cosec}^2 \gamma}}{2} \qquad (43)$$

$$\operatorname{tang} 2\psi = \frac{2ab \cos \gamma}{a^2 - b^2} \qquad (44)$$

$$= \frac{2 r r' \cos \gamma}{\sqrt{(r^2 + r'^2)^2 \sin^2 \gamma - 4 r^2 r'^2}} \qquad (45)$$

$\cos \alpha$ und $\cos \beta$ wie unter a).

Damit die Zerlegung möglich sei, muß man haben:

$$\sin^2\gamma = \text{oder} > \left(\frac{2\,r\,r'}{r^2 + r'^2}\right)^2 \tag{46}$$

Im Falle der Gleichheit ist:

$$a^2 = b^2 = \frac{r^2 + r'^2}{2}; \text{ und } \psi = 45^\circ.$$

e) Zerlegung in zwei Seitenschwingungen, von deren einer die Amplitude gegeben ist.

Gegeben: die Amplitude a, außerdem r, r', $\varphi'$, q, p.

Gesucht: b, $\psi$, $\gamma$, $\alpha$, $\beta$.

$$b^2 = r^2 + r'^2 - a^2 \tag{47}$$

$$\cos 2\psi = \frac{2a^2 - (r^2 + r'^2)}{r^2 - r'^2} \tag{48}$$

$$\sin 2\psi = \pm \frac{2\sqrt{a^2(r^2 + r'^2 - a^2) - r^2 r'^2}}{r^2 - r'^2} \tag{49}$$

$$\cos\gamma = \frac{2a^2 - (r^2 + r'^2)}{2a\sqrt{r^2 + r'^2 - a^2}}\tang 2\psi$$

$$= \pm\frac{\sqrt{a^2(r^2 + r'^2 - a^2) - r^2 r'^2}}{a\sqrt{r^2 + r'^2 - a^2}} \tag{50}$$

cos $\alpha$ und cos $\beta$ wie unter a).

Die oberen Zeichen in den Werthen von sin $2\psi$ und cos $\gamma$ gehören zusammen, und eben so die unteren.

Diese doppelten Vorzeichen entsprechen zwei möglichen Auflösungen.

Damit die Zerlegung überhaupt möglich sei, muß man nehmen a = oder < r.

7) Zusammensetzung zweier, einen beliebigen Winkel mit einander bildenden, geradlinigen Schwingungen von beliebiger Phase zu einer elliptischen Schwingung.

Gegeben: m die Amplitude der einen Schwingung;
$\mu$ ihre Phase;
$\delta$ der Winkel derselben mit einer angenommenen fixen Richtung;
n, $\nu$, $\tau$ dasselbe respectiv für die andere Schwingung;

Die Winkel $\delta$ und $\tau$ sind nach derselben Seite von der fixen Richtung an genommen.

Gesucht: r, r', i², $\psi$, p, $\varphi$, $\varphi'$, q.

Diese Buchstaben haben hier dieselbe Bedeutung als unter 5), mit der Bemerkung, daß die Winkel $\psi$, $\varphi$, die dort auf die Richtung a bezogen wurden, hier auf die gegebene fixe Richtung zu beziehen sind.

Hier werden r, r', $\psi$ durch die unter 5) gegebenen Formeln bestimmt, worin a, b und cos $\gamma$ auf folgende Weise von den gegebenen Größen abhängen:

$$a^2 = m^2 \cos^2 \delta + n^2 \cos^2 \tau + 2\,m\,n \cos \delta \cos \tau \cos (\mu - \nu) \qquad (51)$$

$$b^2 = m^2 \sin^2 \delta + n^2 \sin^2 \tau + 2\,m\,n \sin \delta \sin \tau \cos (\mu - \nu) \qquad (52)$$

$$a^2 + b^2 = m^2 + n^2 + 2\,m\,n \cos (\delta - \tau) \cos (\mu - \nu) \qquad (53)$$

$$a^2 - b^2 = m^2 \cos 2\delta + n^2 \cos 2\tau + 2\,m\,n \cos (\delta + \tau) \cos (\mu - \nu) \qquad (54)$$

$$\cos \gamma = \frac{m^2 \sin 2\delta + n^2 \sin 2\tau + 2\,m\,n \sin (\tau + \delta) \cos (\mu - \nu)}{2\,a\,b} \qquad (55)$$

Zur Bestimmung von $i$, $p$, $\varphi$, $\varphi'$, $q$ hat man folgende Formeln:

$$i^2 = a^2 + b^2$$

$$p^2 = a^2 (m \cos \delta \cos \mu + n \cos \tau \cos \nu)^2 + b^2 (m \sin \delta \cos \mu + n \sin \tau \cos \nu)^2 \qquad (56)$$

$$\left.\begin{array}{l} \sin \varphi = \dfrac{m \sin \delta \cos \mu + n \sin \tau \cos \nu}{p} \\ \cos \varphi = \dfrac{m \cos \delta \cos \mu + n \cos \tau \cos \nu}{p} \end{array}\right\} \qquad (57)$$

$$\varphi' = \varphi - \psi \qquad (58)$$

$$\left.\begin{array}{l} \sin q = \dfrac{p}{r'} \sin \varphi'; \; \cos q = \dfrac{p}{r} \cos \varphi'; \\ \operatorname{tang} q = \dfrac{r}{r'} \operatorname{tang} \varphi' \end{array}\right\} \qquad (59)$$

Die Drehung geschieht nach der Richtung, nach welcher die Winkel $\varphi$, $\delta$, $\tau$ gezählt werden, oder nach der entgegengesetzten, je nachdem

$$\sin (\tau - \delta) \sin (\mu - \nu) \qquad (60)$$

positiv oder negativ ist.

Damit die Winkel, welche die Seitenschwingungen unter einander bilden, halbirt werden von den Axen der Ellipse, muß man haben $a = b$.

Damit die resultirende Schwingung kreisförmig werde, muß man, wenn $\cos (\mu - \nu) = 0$, noch überdies haben $\cos 2 (\delta - \tau) = -\frac{m^4 + n^4}{2\,m^2\,n^2}$; oder, wenn $m = n$, muß man haben: $\cos (\delta - \tau) = -\cos (\nu - \mu)$.

Damit $r^2 + r'^2 = m^2 + n^2$, ist erfoderlich und hinreichend, daß $\cos (\delta - \tau) \cos (\mu - \nu) = 0$.

**Allgemeine Zerlegungsformeln**, welche den hier betrachteten Fällen der Zusammensetzung entsprechen, lassen sich nicht wohl geben, indem die Herleitung derselben auf Gleichungen des 4. Grades führen würde.

### 8) Zusammensetzung zweier kreisförmigen Schwingungen.

**Gegeben:** $r$ und $\varrho$ die Radien beider kreisförmigen Seitenschwingungen;

$i^2$ und $i^2 = 2r^2$ und $2\varrho^2$ ihre respectiven Intensitäten;

$q$ und $q$ ihre respectiven Phasen, von den in beiden Kreisen sich correspondirenden Puncten an gezählt, wo eine in beliebiger Richtung durch den Mittelpunct der Kreise gelegte fixe geradlinige Richtung die Kreise auf derselben Seite vom Mittelpuncte schneidet. Wenn man will, kann man beliebig $q$ oder $q = 0$ setzen, indem man die fixe Richtung so annimmt, daß dieser Bedingung Genüge geschieht.

Gesucht: R, R′, J², Ψ, P, Φ, Φ′, Q.

Diese Buchstaben haben hier dieselbe Bedeutung als die entsprechenden kleinen Buchstaben unter 5), mit der Bemerkung, daß die Winkel Ψ, Φ, die dort auf die Richtung a bezogen sind, hier eben so auf die fixe Richtung bezogen werden.

a) Für den Fall, daß beide Schwingungen derselben Richtung folgen.

$$R^2 = R'^2 = P^2 = r^2 + \varrho^2 + 2r\varrho\cos(q - q) \qquad (61)$$

$$J^2 = i^2 + i^2 + 2ii\cos(q - q) \qquad (62)$$

$$\Psi = \tfrac{0}{0} \qquad (63)$$

$$\sin\Phi = \frac{r\sin q + \varrho\sin q}{R};\ \cos\Phi = \frac{r\cos q + \varrho\cos q}{R} \qquad (64)$$

Die resultirende Schwingung ist also jedenfalls wieder kreisförmig. Die Drehungsrichtung ist dieselbe als in den Seitenschwingungen. Zählt man Q von der gegebenen fixen Richtung an, so ist $Q = \Phi$;

Für $r = \varrho$ hat man: $\Phi = \frac{q + q}{2}$

Für $q = q$ hat man: $\Phi = q = q$; $R = r + \varrho$.

Der resultirende Radius R ist gleich der Summe der Seitenradien r und $\varrho$, wenn $q - q = \pm 90°$; gleich der Differenz derselben, wenn $q - q = \pm 180°$, mithin die resultirende Amplitude sowohl als Intensität 0, wenn, während der Phasenunterschied der Seitenschwingungen $= \pm 180°$, zugleich $r = \varrho$. Die resultirende Intensität ($J = 2R^2$) ist gleich der Summe der Seitenintensitäten ($2r^2 + 2\varrho^2$), wenn $q - q = \pm 90°$.

b) Für den Fall, daß beide Schwingungen einander entgegengesetzter Richtung folgen.

$$R = r + \varrho;\ R' = r - \varrho;\ J^2 = i^2 + i^2 \qquad (65)$$

$$\Psi = \frac{q - q}{2} \qquad (66)$$

$$P^2 = r^2 + \varrho^2 + 2r\varrho\cos(q + q) \qquad (67)$$

$$\sin\Phi = \frac{r\sin q - \varrho\sin q}{P};\ \cos\Phi = \frac{r\cos q + \varrho\cos q}{P} \qquad (68)$$

$$\Phi' = \Phi - \Psi;\ Q = \frac{q + q}{2} \qquad (69)$$

Die Schwingung ist also elliptisch und wird für $r = \varrho$ geradlinig. Die Drehungsrichtung folgt der Schwingung vom Radius r oder $\varrho$, je nachdem $r >$ oder $< \varrho$. Die Intensität ist vom Phasenunterschiede unabhängig.

9) Zerlegung einer kreisförmigen Schwingung in zwei andere kreisförmige, nach derselben Richtung mit der ursprünglichen gehende, Schwingungen.

Gegeben: R und Q, außerdem 2 beliebige von folgenden 4 Größen: r, $\varrho$, q, q.

Gesucht: Die beiden andern der letzten 4 Größen.

Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung als unter 8), mit der Bemerkung, daß q und q von derselben beliebig gewählten fixen Richtung an gezählt werden *), von welcher Q gezählt wird.

Es finden hier dieselben Formeln Statt als unter 2), wenn man die dort vorkommenden Buchstaben mit den respectiv hier darunter gesetzten vertauscht.

$A.\quad a.\quad \alpha'.\quad \alpha.\quad \alpha'.\quad \vartheta.\quad \vartheta'.\quad \varkappa.\quad \zeta.$

$R.\quad r.\quad \varrho.\quad q.\quad q.\quad (q-Q).\quad (Q-q).\quad Q.\quad (q-q).$

10) Zerlegung einer elliptischen Schwingung in zwei kreisförmige von entgegengesetzter Richtung.

Gegeben: $R, R', J^2, \Psi, Q$.

Gesucht: $r, \varrho, i^2, i^2, q, q$.

$$r = \frac{R + R'}{2};\quad \varrho = \frac{R - R'}{2} \tag{70}$$

$$i^2 = \frac{J^2 + 2RR'}{2};\quad i^2 = \frac{J^2 - 2RR'}{2} \tag{71}$$

$$q = \frac{Q + \Psi}{2};\quad q = \frac{Q - \Psi}{2} \tag{72}$$

Eine elliptische Schwingung läßt sich nur auf eine einzige Art in zwei kreisförmige von entgegengesetzter Richtung zerlegen.

11) Zusammensetzung einer geradlinigen und einer kreisförmigen zu einer elliptischen Schwingung.

Die Phase der kreisförmigen Schwingung werde von demjenigen Durchschnittspuncte derselben mit der geradlinigen Schwingung an gezählt, welcher dem Anfang der Phase der geradlinigen Schwingung zunächst liegt.

Gegeben: $a$ die Amplitude, $a^2$ die Intensität, $\alpha$ die Phase der geradlinigen Schwingung;

$\varrho$ der Radius, $i^2$ die Intensität, $f$ die Phase der kreisförmigen Schwingung;

$k = f - \alpha$ der Phasenunterschied beider Schwingungen.

Gesucht: $R, R', J^2, \Psi, P, \Phi, \Phi', Q$, wo diese Buchstaben dieselbe Bedeutung haben, als die entsprechenden kleinen Buchstaben unter 5), und die Winkel $\Psi$, $\Phi$ ebenfalls auf die Richtung $a$ zu beziehen sind.

Man hat:

$$R^2 = \frac{a^2 + 2\varrho^2 + 2a\varrho\cos k}{2} + \frac{a\sqrt{a^2 + 4\varrho^2 + 4a\varrho\cos k}}{2} \tag{73}$$

$$R'^2 = \frac{a^2 + 2\varrho^2 + 2a\varrho\cos k}{2} - \frac{a\sqrt{a^2 + 4\varrho^2 + 4a\varrho\cos k}}{2} \tag{74}$$

$$J^2 = a^2 + i^2 + 2a\varrho\cos k \tag{75}$$

*) Oder vielmehr von den correspondirenden Durchschnittspuncten dieser fixen Richtung mit den Kreisen.

$$\sin 2\Psi = \frac{2a\varrho \sin k}{R^2 - R'^2};\ \cos 2\Psi = \frac{a^2 + 2a\varrho \cos k}{R^2 - R'^2} \tag{76}$$

$$\tang 2\Psi = \frac{2\varrho \sin k}{a + 2\varrho \cos k} \tag{77}$$

$$P^2 = \varrho^2 + a^2 \cos^2 \alpha + 2a\varrho \cos \alpha \cos f \tag{78}$$

$$\sin \Phi = \frac{\varrho \sin f}{P};\ \cos \Phi = \frac{\varrho \cos f + a \cos \alpha}{P} \tag{79}$$

$$\Phi' = \Phi - \Psi \tag{80}$$

$$\sin Q = \frac{P}{R'} \sin \Phi';\quad \cos Q = \frac{P}{R} \cos \Phi' \tag{81}$$

Die Drehung geschieht nach derselben Richtung, nach welcher $\Psi$ und $\Phi'$ gezählt werden, oder nach entgegengesetzter Richtung, je nachdem $\varrho + a \cos k$ positiv oder negativ ist.

Die resultirende Schwingung ist im Allgemeinen elliptisch, sie wird aber geradlinig und ihre Amplitude $= a$, wenn $\cos k = -\frac{\varrho}{a}$; kreisförmig, mit dem Radius $= \frac{a}{2}$ oder der Intensität $\frac{a^2}{2}$, wenn $\cos k = -\frac{a^2 + 4\varrho^2}{4a\varrho}$.

Die resultirende Intensität $J^2$ ist gleich der Summe der Seitenintensitäten, wenn $k = \pm 90°$; geringer als die Summe dieser Intensitäten, wenn $\cos k$ negativ, größer, wenn $\cos k$ positiv ist; gleich der bloßen Intensität $a^2$, wenn $\cos k = -\frac{\varrho}{a}$; gleich der bloßen Intensität $i^2$, wenn $\cos k = -\frac{a}{2\varrho}$; null, wenn $\cos k = -\frac{a^2 + 2\varrho^2}{2a\varrho}$.

Die große Axe fällt mit der Richtung a zusammen, wenn $k = 0$ und steht senkrecht darauf, wenn $k = \pm 180°$.

12) Zerlegung einer elliptischen Schwingung in eine geradlinige und eine kreisförmige.

Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung als unter 11).

a) Für einen gegebenen Phasenunterschied der geradlinigen und kreisförmigen Schwingung.

Gegeben, $R, R', Q, k$.
Gesucht: $a, \varrho, \Psi, f, \alpha$.

$$a = R \pm R' \tag{82}$$

$$\varrho = \frac{-a \cos k \pm \sqrt{a^2 \cos^2 k + 2(R^2 + R'^2 - a^2)}}{2} \tag{83}$$

$$\sin 2\Psi = \frac{2a\varrho \sin k}{R^2 - R'^2};\ \cos 2\Psi = \frac{a^2 + 2a\varrho \cos k}{R^2 - R'^2} \tag{84}$$

$$\sin f = \frac{R' \sin Q \cos \Psi + R \cos Q \sin \Psi}{\varrho} \tag{85}$$

$$\cos f = \frac{R \cos Q \cos \Psi - R' \sin Q \sin \Psi}{\varrho + a \cos k} - a \sin f \sin k \qquad (86)$$

$$\alpha = f - k. \qquad (87)$$

b) Für eine gegebene Lage der geradlinigen Schwingung.

Gegeben: R, R′, Q, Ψ.

Gesucht: a, ϱ, k, f, α.

$$a = R \pm R' \qquad (88)$$

$$\varrho^2 = \frac{(R^2 - R'^2)^2}{2a^2} + \frac{a^2}{2} - (R^2 \cos^2 \Psi + R'^2 \sin^2 \Psi) \qquad (89)$$

$$\left.\begin{aligned} \sin k &= \frac{(R^2 - R'^2) \sin 2\Psi - a^2}{2a\varrho} \\ \cos k &= \frac{(R^2 - R'^2) \cos 2\Psi - a^2}{2a\varrho} \end{aligned}\right\} \qquad (90)$$

f und α wie unter 12) a).

c) Für eine gegebene Amplitude der kreisförmigen Schwingung.

Gegeben: R, R′, Q, ϱ.

Gesucht: a, Ψ, k, f, α.

$$a = R \pm R' \qquad (91)$$

$$\cos k = \frac{R^2 + R'^2 - a^2 - 2\varrho^2}{2a\varrho} \qquad (92)$$

$$\sin k = \pm\sqrt{1 - \cos^2 k} \qquad (93)$$

$$\sin 2\Psi = \frac{2a\varrho \sin k}{R^2 - R'^2};\; \cos 2\Psi = \frac{a^2 + 2a\varrho \cos k}{R^2 - R'^2} \qquad (94)$$

f und α wie unter 12) a).

13) Zusammensetzung von vier auf einander rechtwinklichen Schwingungen zu einer elliptischen Schwingung.

Gegeben: a und a′ die Amplituden zweier Seitenschwingungen, die nach der einen Richtung gehen;

b und b′ die Amplituden der beiden Seitenschwingungen, die nach der darauf senkrechten Richtung gehen;

α, α′, β, β′ die ihnen respectiv zugehörigen Phasen.

Gesucht: R, R′, Ψ, X, Y, P, Φ, Φ′, Q.

Die gesuchten Buchstaben haben dieselbe Bedeutung als die entsprechenden kleinen Buchstaben unter 5), wobei im jetzigen Falle das auf die gemeinschaftliche Richtung der a und a′ zu beziehen ist, was unter 5) auf die Richtung a bezogen wurde.

Um nicht zu complicirte Ausdrücke zu erhalten, wollen wir uns der Hülfsgrößen A, B, Γ, ℵ, ℶ bedienen, die wir unten als Functionen der gegebenen Größen ausdrücken werden.

Größe und Lage der Ellipsenaxen.

$$R^2 = \frac{A^2 + B^2}{2} + \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)^2 + 4A^2B^2\cos^2\Gamma}}{2} \qquad (95)$$

$$R'^2 = \frac{A^2 + B^2}{2} - \frac{\sqrt{(A^2 - B^2)^2 + 4 A^2 B^2 \cos^2 \Gamma}}{2} \quad (96)$$

$$\sin 2\Psi = \frac{2 A B \cos \Gamma}{R^2 - R'^2}; \cos 2\Psi = \frac{A^2 - B^2}{R^2 - R'^2} \quad (97)$$

$$\tang 2\Psi = \frac{2 A B \cos \Gamma}{A^2 - B^2} \quad (98)$$

Coordinaten, Phase und Drehungsrichtung der elliptischen Schwingung.

$$X = A \cos \aleph; \; Y = B \cos \beth \quad (99)$$

$$P^2 = A^2 \cos^2 \aleph + B^2 \cos^2 \beth \quad (100)$$

$$\sin \Phi = \frac{B \cos \beth}{P}, \; \cos \Phi = \frac{A \cos \aleph}{P} \quad (101)$$

$$\Phi' = \Phi - \Psi \quad (102)$$

$$\sin Q = \frac{A \cos \Psi \sin \aleph + B \sin \Psi \sin \beth}{T} = \frac{P}{R'} \sin \Phi' \quad (103)$$

$$\cos Q = \frac{A \cos \Psi \cos \aleph + B \sin \Psi \cos \beth}{T} = \frac{P}{R} \cos \Phi' \quad (104)$$

$$\tang Q = \frac{A \cos \Psi \sin \aleph + B \sin \Psi \sin \beth}{B \cos \Psi \cos \aleph + B \sin \Psi \cos \beth} \quad (105)$$

wo $T^2 = A^2 \cos^2 \Psi + B^2 \sin^2 \Psi + A B \sin 2\Psi \cos(\aleph - \beth)$ (106)
Die Drehung ist direct oder folgt der Richtung, nach welcher $\Phi$, $\Phi'$, $\Psi$ gezählt werden, wenn $\sin(\aleph - \beth)$ positiv ist, umgekehrt, wenn $\sin(\aleph - \beth)$ negativ ist.

Gleichung der resultirenden Ellipse.

$$\left(\frac{X}{A}\right)^2 + \left(\frac{Y}{B}\right)^2 - \frac{2XY}{AB} \cos \Gamma = \sin^2 \Gamma \quad (107)$$

$$P^2 = \frac{A^2 B^2 \sin^2 \Gamma}{A^2 \sin^2 \Phi + B^2 \cos^2 \Phi - A B \sin 2\Phi \cos \Gamma} \quad (108)$$

Die Größen A, B, $\Gamma$, $\aleph$, $\beth$ und ihre vorkommenden Combinationen sind folgendergestalt als Functionen der gegebenen Größen bestimmt:

$A^2 = a^2 + a'^2 + 2 a a' \cos(\alpha - \alpha')$ (109)

$B^2 = b^2 + b'^2 + 2 b b' \cos(\beta - \beta')$ (110)

$A^2 + B^2 =$
$a^2 + a'^2 + b^2 + b'^2 + 2 a a' \cos(\alpha - \alpha') + 2 b b' \cos(\beta - \beta')$ (111)

$A^2 - B^2 =$
$a^2 + a'^2 - b^2 - b'^2 + 2 a a' \cos(\alpha - \alpha') - 2 b b' \cos(\beta - \beta')$ (112)

$\Gamma = \aleph - \beth$

$A B \cos \Gamma =$
$a b \cos(\alpha - \beta) + a b' \cos(\alpha - \beta') + a' b \cos(\alpha' - \beta) + a' b' \cos(\alpha' - \beta')$ (113)

$A B \sin \Gamma =$
$a b \sin(\alpha - \beta) + a b' \sin(\alpha - \beta') + a' b \sin(\alpha' - \beta) + a' b' \sin(\alpha' - \beta')$ (114)

$$\sin \aleph = \frac{a \sin \alpha + a' \sin \alpha'}{A}; \; \cos \aleph = \frac{a \cos \alpha + a' \cos \alpha'}{A} \quad (115)$$

$$\sin \beth = \frac{b \sin \beta + b' \sin \beta'}{B}; \quad \cos \beth = \frac{b \cos \beta + b' \cos \beta'}{B} \qquad (116)$$

### 14) Zusammensetzung zweier elliptischen Schwingungen zu einer einzigen elliptischen Schwingung.

**Gegeben:** $r$, $r'$, $\psi$, $\varphi$, $\varphi'$, $p$, $q$ für die eine der elliptischen Seitenschwingungen, wo die Buchstaben dieselbe Bedeutung haben als unter 5), nur daß man $\psi$ und $\varphi$ von einer beliebigen fixen Richtung an zählt.

Ferner $\varrho$, $\varrho'$, $\xi$, f, f′, $\varpi$, q dasselbe respectiv für die andere elliptische Seitenschwingung, wo $\xi$ und f von derselben fixen Richtung an und nach derselben Seite gezählt werden, als $\psi$ und $\varphi$.

**Gesucht:** R und R′ die große und die kleine Halbaxe der resultirenden Ellipse;

$\Psi$ der Winkel der großen oder der kleinen Halbaxe der resultirenden Ellipse mit der gegebenen fixen Richtung, je nachdem die in den folgenden Formeln vorkommende Größe A größer oder kleiner als B ist;

P der Radius vector der resultirenden Ellipse;

$\Phi$ der Winkel, den P mit der gegebenen fixen Richtung nach derselben Seite macht, nach welcher $\varphi$ und f gezählt werden;

$\Phi'$ der Winkel, den P nach eben dieser Seite mit der großen Axe der Ellipse macht;

Q die Phase der Ellipse.

Man hat zur Bestimmung der gesuchten Größen die unter 13) gegebenen Formeln, worin aber noch a, b, a′, b′, $\alpha$, $\beta$, $\alpha'$, $\beta'$ als Functionen der hier gegebenen Größen r, r′, $\varrho$, $\varrho'$ rc. auszudrücken sind, so daß man sonach, um die gesuchten Größen zu finden, wiederholte Substitutionen vornehmen muß.

Man hat:

$$a^2 = r^2 \cos^2 \psi + r'^2 \sin^2 \psi \qquad (117)$$

$$b^2 = r^2 \sin^2 \psi + r'^2 \cos^2 \psi \qquad (118)$$

$$a'^2 = \varrho^2 \cos^2 \xi + \varrho'^2 \sin^2 \xi \qquad (119)$$

$$b'^2 = \varrho^2 \sin^2 \xi + \varrho'^2 \cos^2 \xi \qquad (120)$$

$$a^2 + b^2 = r^2 + r'^2; \quad a^2 - b^2 = (r^2 - r'^2) \cos 2\psi \qquad (121)$$

$$a'^2 + b'^2 = \varrho^2 + \varrho'^2; \quad a'^2 - b'^2 = (\varrho^2 - \varrho'^2) \cos 2\xi \qquad (122)$$

$$\cos \alpha = \frac{p^{*)} \cos (\varphi' + \psi)}{a} = \frac{r \cos q \cos \psi - r' \sin q \sin \psi}{a} \qquad (123)$$

$$\cos \beta = \frac{p \sin (\varphi' + \psi)}{b} = \frac{r' \sin q \cos \psi + r \cos q \sin \psi}{b} \qquad (124)$$

$$\cos \alpha' = \frac{\varpi \cos (f' + \xi)}{a'} = \frac{\varrho \cos q \cos \xi - \varrho' \sin q \sin \xi}{a'} \qquad (125)$$

*) p ist hier durch Formel (35) bestimmt

$$\cos\beta' = \frac{\varpi \sin(f' + \xi)}{b'} = \frac{\varrho' \sin q \cos \xi + \varrho \cos q \sin \xi}{b'} \quad (126)$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \frac{a^2 - b^2}{2ab} \operatorname{tang} 2\psi \quad (127)$$

$$\cos(\alpha' - \beta') = \frac{a'^2 - b'^2}{2a'b'} \operatorname{tang} 2\xi \quad (128)$$

Wenn beide Seitenschwingungen nach derselben Richtung gehen, muß man $\sin(\alpha - \beta)$ von gleichem Vorzeichen mit $\sin(\alpha' - \beta')$ nehmen, wenn sie dagegen nach entgegengesetzter Richtung gehen, vom entgegengesetzten Vorzeichen.

Die resultirende Schwingung stimmt in der Richtung mit der Schwingung, deren Halbaxen r und r' sind, überein, wenn

$$\sin(\aleph - \beth) = \frac{a b \sin(\alpha - \beta) + a b' \sin(\alpha - \beta') + a' b \sin(\alpha' - \beta) + a' b' \sin(\alpha' - \beta')}{[illegible]} \quad (129)$$

gleiches Vorzeichen mit $\sin(\alpha - \beta)$ hat; dagegen hat sie die entgegengesetzte Richtung, wenn das Vorzeichen von $\sin(\aleph - \beth)$ das entgegengesetzte als von $\sin(\alpha - \beta)$ ist.

# Neunter Abschnitt.

## Lehre von der Wärme.

### I. Wärmeleitung, Wärmestrahlung und verschiedene, die Wärme betreffende, Umstände.

#### Wärmeleitungsvermögen der Metalle, von Fischer*).

Nach dem Verfasser ist das Leitungsvermögen des Platin und Palladium keine constante Größe, sondern es ändert sich in seinem Verhältnisse zum Leitungsvermögen anderer Metalle je nach dem Temperaturgrade, dem das erwärmte Ende ausgesetzt wird, nach der Lage, in der es gehalten wird, so wie auch (wofür aber keine Versuche angeführt sind) nach der Dicke des angewandten Metalles, ein Umstand, der z. B. die Bestimmung von Despretz (Biot V. 319) über den Werth des Leitungsvermögens des Platins unzuverlässig machen soll; ja der Verfasser fand es nicht einmal an derselben Stelle in der Reihe der Metalle, als Despretz. Die allgemeinen (zum Theil etwas sonderbaren!) Resultate, die sich aus seinen Versuchen ergeben, sind:

1) Die Ordnung der Metalle hinsichtlich ihres Leitungsvermögens ist: Silber, Kupfer, gewöhnliches legirtes Gold, Palladium, Platin. Während indeß das Platin und Palladium den anderen genannten Metallen im Leitungsvermögen starker Wärmegrade beträchtlich nachstehen, stehen sie ihnen in der Fertigkeit, schnell ins Glühen zu kommen, voran.

2) Wenn man das Leitungsvermögen von Streifen aus diesen Metallen so vergleicht, daß man das eine Ende derselben erhitzt, und beobachtet, in welchen Zeiten sich die Wärme auf gleiche Weiten fortpflanzt, so findet man, daß der Unterschied zwischen dem Leitungsvermögen des Platins von dem der drei erstgenannten Metalle größer ausfällt, wenn das Ende in einer Weingeistflamme zum Glühen gebracht, als wenn es bloß mittelst kochenden Wassers erhitzt wird.

*) Pogg. XIX. 507.

3) Es ist nicht ohne Einfluß auf die Schnelligkeit der Fortpflanzung der Wärme, insbesondere beim Platin, wenn das Metall von der Flamme, in der sein eines Ende erhitzt worden, entfernt wird, in welcher Richtung man es hält, indem sich die Wärme bei verticaler Richtung weit schneller fortpflanzt, wenn das erhitzte Ende nach unten, als wenn es umgekehrt nach Oben gehalten wird *).

4) Die Fortpflanzung der Wärme von dem erhitzten Ende eines Metalles aus nach den entfernten Enden erfolgt bei Weitem schneller, wenn dieses Ende, statt in der Luft durch eine Flüssigkeit, besonders durch Wasser, abgekühlt wird.

Folgende Versuche werden als Belege dieser Sätze angeführt, die allerdings nicht mittelst genauer Instrumente, noch unter völlig vergleichbaren Umständen, angestellt waren.

Zu 1). a) Gleich dünne Streifen von Silber, Gold (welches legirt war), Kupfer, Platin und Palladium wurden, unter ziemlich gleichen Umständen, an dem einen Ende der schwachen Flamme einer gewöhnlichen Weingeistlampe ausgesetzt und in gleicher Entfernung von dem erhitzten Ende mit der Hand gehalten. Die Wärme theilte sich nach der angegebenen Ordnung bei den ersten drei Metallen schnell der gehaltenen Stelle mit, und erhitzte sie dergestalt, daß sie kaum mehr gehalten werden konnte; bei den letzteren beiden wurde erst selbst nach längerer Zeit nur eine sehr geringe Wärme wahrgenommen; obgleich das der Flamme ausgesetzte Ende derselben sofort hellroth glühte, was wieder bei keinem der ersten der Fall war; d. h. Silber, Gold, Kupfer konnten, selbst an einer von dem erhitzten Ende weit entfernteren Stelle, nicht so lange mit der Hand gehalten werden, bis sie glühend wurden, was beim Platin und Palladium in wenigen Secunden der Fall ist.

b) Bei fernerer Einwirkung der Hitze pflanzt sich die Wärme bei den ersten drei Metallen immer weiter fort, so daß sie nur immer entfernter von dem erhitzten Ende gehalten werden können; bei den letzteren beiden hingegen findet dieses sehr unbedeutend Statt, so daß z. B. nach 10 Minuten langem Glühen der Silberstreifen kaum noch in der Entfernung von 6 Zoll vom glühenden Ende gehalten werden kann, während das Platin in einer Entfernung von 2 Zoll weit weniger erhitzt ist.

c) Ganz dieser Wahrnehmung durch das Gefühl ist auch das Schmelzen des Wachses, womit die Metallstreifen überzogen waren, entsprechend, und hier kann dann das angegebene Verhältniß des Leitungsvermögens beobachtet werden, nach dem die Ordnung der Metalle folgende ist: Silber, Kupfer, Gold, Palladium und Platin.

d) So wie die Fortpflanzung der Wärme, während des fortgesetzten Erhitzens an dem einen Ende, so erfolgt sie auch, wie natürlich, in der

*) Sollte nicht das Aufsteigen der erhitzten Luft zur Erwärmung der oberen Theile hiebei mitwirken?

ersten Zeit, wenn der Streifen aus der Flamme genommen wird, so daß bei einer bestimmten Entfernung, bei welcher man während des Erhitzens keine Wärme wahrgenommen hat, sie jetzt sehr deutlich und nach dem Verhältniß dieser Entfernung ebenfalls nachträglich werden kann. Auch hier findet der doppelte Unterschied zwischen den ersten dreien und den letzten beiden Metallen Statt, indem diese letzteren α) beim Erhitzen bis zum hellen Rothglühen die Wärme kaum bis zur Hälfte der Entfernung zeigen, bis zu welcher sie beim Silber ꝛc., selbst wenn es nur kurze Zeit der Flamme ausgesetzt war, wahrgenommen wird, und β) weit schneller die Wärme fortpflanzen, wenn das glühende Ende aus der Flamme genommen wird, als so lange es in der Flamme bleibt.

Zu 2). Wenn die Enden der mit einander verglichenen Metalle in kochendes Wasser gesteckt werden, so findet man, daß die Weiten, bis zu welchen das Wachs schmilzt, bei Platin und den drei erstgenannten Metallen sich der Gleichheit mehr nähern, als wenn die Enden in die Flamme gesteckt werden.

Zu 3). Das unter 3) ausgesprochene Ergebniß kann man bei Anwendung eines bestimmten Hitzgrades leicht wahrnehmen, wenn man schnell mit den Richtungen abwechselt, indem man, sobald das erhitzte Ende nach unten zugekehrt ist, eine bedeutende Vermehrung der Wärme wahrnimmt, die beim Umkehren nach oben nicht oder sehr unbedeutend zunimmt; was hingegen wieder bei der ersten Richtung Statt findet. Jedoch erfolgt dieser Umstand in den ersten Zeitmomenten.

Zu 4). Wenn ein Platin- oder Silberlöffel so lange erhitzt wird, bis der in der Hand gehaltene Stiel eben warm zu werden anfängt, und dann in den Löffel Wasser gegossen wird, so theilt sich die Hitze schnell mit, so daß der Löffel nicht mehr gehalten werden kann. Hiebei verdient noch besonders bemerkt zu werden, daß diese Fortpflanzung nur dann durch das Wasser beschleunigt wird, wenn die Hitze des Löffels nicht den Grad erreicht hat, bei welchem das Wasser das bekannte Leidenfrost'sche Phänomen darstellt.

## Temperatur des aus einem Dampfkessel ausströmenden Dampfes, von Ewart*).

Wenn Dampf von hoher Temperatur aus einem Dampfbehälter durch eine Öffnung ausströmt, so erkältet er sich hiebei, wie bekannt, wegen der Ausdehnung, die er beim Ausströmen erfährt, und ein, dicht an die Öffnung des Sicherheitsventiles eines Dampfkessels von hohem Druck, in den ausströmenden Dampf gehaltenes Thermometer zeigt daher keine so hohe Temperatur an, als der Dampf zufolge der, zur Hebung des Ventiles erforderlichen, Elasticität im Innern des Kessels besitzen muß. So fand Ewart bei einer innern Temperatur des Dampfes von 290° F. (143° $\frac{1}{3}$ C.),

*) Philos. Mag. and Ann. T. V. p. [illegible] oder Pogg. XV. [illegible].

die Temperatur des aus der Öffnung des Sicherheitsventiles ausströmenden Dampfes dicht an der Öffnung bloß 160° F. (71°$\frac{1}{9}$ C.). Dieser Umstand unterliegt keiner Schwierigkeit; dagegen ist interessant, daß nach desselben Erfahrung unter gewissen Umständen die Temperatur des ausströmenden Dampfes in einer gewissen Entfernung wieder steigen kann, wenn man ihn nämlich in ein Rohr mit offener Mündung austreten läßt.

Ewart hat dies durch folgende Erfahrungen bewiesen: A Figur 87. ist eine eiserne Röhre $\frac{3}{4}$ Zoll im Lichten, welche mit dem Dampfkessel in Verbindung steht, und durch einen Hahn B von gleich großer Öffnung wie die Röhre verschlossen ist. An diesen Hahn wurde luftdicht ein kupfernes Rohr geschraubt, 2 Zoll weit und 16 Zoll lang. In dieses Rohr war das Thermometer D eingelassen, so daß es gerade vor die Mitte der Öffnung des Hahnes B und ungefähr anderthalb Zoll davon entfernt zu stehen kam. Ein zweites Thermometer E war auf gleiche Weise nahe an dem andern, ganz offenen Ende des kupfernen Röhres befestigt. Die Elasticität des Dampfes betrug in dem Kessel ungefähr 58 Pfund (einschließlich der Atmosphäre) auf den Quadratzoll, und daher mußte die Temperatur inwendig ungefähr 285° F. betragen. Bei völlig geöffnetem Hahne stand nun das Thermometer D auf 212° F., während E auf 232° stand und folglich eine Temperaturzunahme von 20° am Ende des Kupferrohres anzeigte.

Nachdem dieses Rohr fortgenommen worden, wurde ein anderes C (Figur 88.) von gleichem Durchmesser und 9 Zoll Länge an den Hahn B geschraubt. Dies Rohr war, wie beim letzten Versuche, mit einem Thermometer D versehen. Das Ende E des Kupferrohres war aber durch eine Platte verschlossen, bis auf ein Loch von ungefähr einer Linie im Durchmesser, in der Mitte der Platte. Bei ungefähr derselben Elasticität und bei geöffnetem Hahne B stand das Thermometer D auf 292° F., während ein anderes Thermometer mit sehr kleiner Kugel, welches, nahe an dem Loche E, in den herausströmenden Dampf gesteckt worden war, 185° zeigte.

Man kann mit dem Apparate Fig. 2. zugleich auch Erfahrungen machen, welche unter die Kategorie der Th. I. S. 127 ff. angeführten gehören. Wenn man nämlich eine kleine, an beiden Enden offene, oben zu einer feinen Spitze ausgezogene, Glasröhre F mit der Spitze in den Dampfstrom steckt, während ihr unteres Ende in Quecksilber getaucht ist, so steigt das Quecksilber im Rohre F und zwar um so höher, je näher es dem Ende E gebracht wird.

## Stralwärme.

**Einfluß der Oberflächen auf Wärmestralung.** Einen, vielleicht zu einer nützlichen Anwendung führenden, Beleg für die Wirkung

*) Ed. J. of sc. Nr. XVIII. p. 232 oder Pogg. XV. 270.

der Beschaffenheit der Oberflächen auf die Wärmestralung liefert folgende Erfahrung von Fox. Zwei gleich große kubische Gefäße aus verzinntem Blech, deren Oberfläche bei dem einen glänzend, bei dem andern mit Lampenruß überzogen war, wurden durch Röhren mit einem Dampfkessel verbunden und nach 72 Minuten das in ihnen condensirte Wasser abgezapft. Es fanden sich in dem glänzenden Gefäße 5,7 und in dem geschwärzten 10,2 Cubikzoll Wasser. Die Temperatur des Dampfes betrug 215° F. (101°,7 C.), die des Gemaches 52° F. (11°,1 C.).

## Phänomen der Stralwärme.

Powell *) führt folgenden interessanten Versuch an: Man stelle ein schwarz und ein weiß angestrichenes Thermometer **) neben einander in kleinem Abstande von einer leuchtenden Wärmequelle (rothglühende Eisenstange, Flamme einer Lampe oder Kerze) auf, und beobachte, um wie viel das eine steigt, wenn das andere um eine gegebene Größe, z. B. um einen Grad, sich erhebt. Mit Beibehaltung der Thermometer in derselben Stellung wiederhole man nun die Beobachtung mit einem dazwischen gestellten Glasschirm. Die Ungleichheit im Steigen der Thermometer wird nun jedenfalls größer sein.

Powell sieht diesen Versuch als einen Beweis an, daß es zwei verschiedene Arten wärmender Agentien gebe, die in der leuchtenden Wärme vereinigt sind, und sich folgendermaßen unterscheiden: die eine Wärme durchdringt Glas und wirkt auf die Körper gemäß der Dunkelheit ihrer Farbe; die andere durchdringt Glas nicht, und wirkt auf die Körper gemäß des Gefüges ihrer Oberfläche. Die Sonnenwärme soll nach dem Verfasser nur aus der ersten Art bestehen; die der leuchtend glühenden Körper aus beiden, und die der nicht leuchtend glühenden Körper bloß aus der letzten. Es scheint mir indeß nicht, daß ein Versuch wie der obige eine solche Unterscheidung zweier Wärmen rechtfertigen könne. Wie viele Arten Lichtes hätte man zu unterscheiden, wenn man sich durch jede Trennung eines Strales in verschiedenartige Lichtportionen (z. B. durch Brechung und Zurückwerfung u. s. f.) veranlaßt finden wollte, hier verschiedene Agentien zu Grunde zu legen.

## Über die vorgebliche Polarisation der Stralwärme, von Powell ***).

Berard hat Versuche angestellt †), zufolge deren die Wärmestralen unter denselben Umständen als die Lichtstralen polarisirt werden sollen.

*) Pogg. XXI. 316.

**) Thermometer von gewöhnlicher Empfindlichkeit sind hinreichend.

***) Edinb. J. of sc. N. S. Vol. III. p. 297; V. 206; im Auszuge in Pogg. XXI. 311.

†) Ann. de Ch. LXXXV. 309; Biot's Lehrb. V. 285 (Originalabhandlung in Mém. d'Arcueil. Vol. III.).

Powell jedoch stieß bei Wiederholung dieser Versuche mit einem dem Berard'schen ähnlichen Apparate theils auf manche Schwierigkeiten, welche sich der Ausführbarkeit solcher Versuche, um sichere Resultate daraus ziehen zu können, entgegensetzen, und deren größte darin besteht, daß in allen Fällen das die Wirkungen messende Thermometer immer nur eine sehr geringe Wärmemenge erhält, theils bestätigten die schwachen Wirkungen, die er erhielt, die Berard'sche Angabe nicht; denn, sagt er: „was die bloß stralende (nicht leuchtende) Wärme betrifft, so war es mir unmöglich, irgend einen Unterschied in den Wirkungen zu bemerken, die Zurückwerfungsebene des zweiten Spiegels mochte im Azimuthe 0° oder 90° von der des ersten stehen. Bei der nicht leuchtend glühenden Kugel war in diesen beiden Stellungen, selbst nach vielmaliger Wiederholung der Versuche, nicht der geringste Unterschied zu beobachten, welcher indeß, bei Anwendung der leuchtenden Wärme einer Lampe, sicherlich zum Vorschein kam. Die leuchtend glühende Kugel gab, bei Zwischenstellung eines Glasschirmes, einen wahrnehmbaren Unterschied in den beiden rechtwinklichen Azimuthen. Nahm man aber den Schirm fort, so stieg zwar im Ganzen die Erwärmung, allein jener kleine Unterschied wurde dadurch nicht vergrößert. Mit einem Worte, gerade der wesentlichste Theil der Berard'schen Resultate, nämlich der, welcher sich auf die bloße Wärme bezieht, konnte durch diese Versuche durchaus nicht bestätigt gefunden werden."

Über den Leidenfrost'schen Versuch.

Fischer*) hat beobachtet, daß, wenn flüchtige und zusammengesetzte Flüssigkeiten den Leidenfrost'schen Versuch erleiden, weit mehr Zersetzung als Verflüchtigung derselben erfolgt. So stellt sich bei Anwendung von Weingeist sogleich der Geruch der sogenannten Lampensäure dar; Äther entwickelt einen scharfen, die Respirationsorgane so wie die Augen sehr reizenden unsichtbaren Dunst, die ätherischen Öle, und unter diesen auch Terpentin- und Stein-Öl, entwickeln starke weiße Dämpfe, welche entweder keinen eigenthümlichen, oder einen ganz verschiedenen von dem des ätherischen Öles selbst zeigen. Concentrirte Schwefelsäure entwickelt dicke bläuliche geruchlose Dämpfe, die ganz unschädlich zum Athmen sind und namentlich nicht im Geringsten zum Husten reizen, was bekanntlich die Dämpfe der unzersetzten Schwefelsäure in so hohem Grade thun**). Beim Wasser allerdings hat Döbereiner, der einen Versuch in Bezug darauf anstellte, keine Zersetzung bemerkt; indeß glaubt Fischer, dies könne daher rühren, daß die Bestandtheile des Wassers in dem Maße, als sie sich zersetzten, auch wieder sich verbänden, so daß beim Wasser das Phänomen in einem abwechselnden Trennen und Verbinden der Bestandtheile bestände.

*) Pogg. XIX. 514; XXI. 163.

**) Der Verfasser glaubt, es erfolge Zersetzung in Sauerstoff und in vielleicht noch unbekanntes Schwefeloxyd.

Die Angabe Döbereiner's, daß auch das Quecksilber das Leidenfrost'sche Phänomen zeige, fand Fischer nicht bestätigt. Nach ihm erfolgt entweder das Verdampfen dieses Metalles, ob es gleich die Kugelgestalt beibehält, sehr schnell, wenn es in den bis über den Siedepunct des Quecksilbers erhitzten Platinlöffel gethan wird, oder es erfolgt unmittelbar eine starke Adhäsion, Amalgamation, wenn der Löffel bis zum starken Glühen erhitzt worden ist; oder endlich das Quecksilber behält seine Kugelgestalt und verdunstet gar nicht oder sehr unbedeutend, wenn die Temperatur des Löffels niedriger als der Siedepunct des Quecksilbers war, oder, wenn in den stark erhitzten Löffel verhältnißmäßig viel Quecksilber gethan wird. Dagegen hat Fischer gefunden, daß sich das Leidenfrost'sche Phänomen besonders leicht bei Anwendung von Flüssigkeiten, welche flüchtiger als Wasser sind, nicht bloß auf erhitzten Metallen, sondern auch auf erhitztem Glas und Porzellan hervorbringen läßt.

Perkins hat beobachtet, daß, wenn man, nachdem man den Generator der Dampfmaschine mit einem kleinen Loch durchbohrt hat, denselben erhitzt, der Dampf durch dies kleine Loch heraustritt, bis das Gefäß rothglühend geworden ist, wo dann alles Ausströmen aufhört, ein Phänomen, welches auf den Leidenfrost'schen Versuch zurückkommt.

Lechevallier *) hat wahrgenommen, daß auch, wenn man den Dampfkessel, in dem sich das Wasser befindet, erst dann durchbohrt, nachdem er schon bis zum Rothglühen erhitzt ist, kein Ausströmen von Dampf Statt findet, bis die Temperatur wieder bis zu gewissem Grade unter die des Rothglühens herabgekommen ist, wo dann vermöge der plötzlichen Verwandlung in Dämpfe eine Art Explosion und ein starker Rückstoß entsteht.

Lechevallier will zugleich gefunden haben, daß die Temperatur des Wassers, welches in einem glühenden Gefäße den Leidenfrost'schen Versuch erfährt, niedriger als die des siedenden Wassers ist; da er jedoch nur nach dem Gefühle der Hand und einem andern indirecten Verfahren, wo der beobachtete Unterschied ohnehin nicht sehr bedeutend war, urtheilte, so möchte hiedurch die entgegengesetzte Angabe Döbereiner's (Schweigg. LXXIX. 45), bei dem ein in die Wasserkugel gesenktes Thermometer zwischen 81 und 79° R. schwankte, nicht widerlegt werden.

Frei **) glaubt, das Leidenfrost'sche Phänomen dadurch erklären zu können, daß der im Berührungspuncte des Wassertropfens und glühenden Metalles sich entwickelnde Dampf zwischen Metallfläche und Tropfen eine Weile zurückgehalten werde, dadurch eine höhere Temperatur und stärkere Elasticität annehme, solchergestalt den Tropfen in die Höhe hebe oder wenigstens seine Berührungspuncte mit dem Metall mindere; das verlangsamte Verdampfen des Tropfens aber erklärt der Verfasser daher, daß durch die,

*) Journ. de Pharmac. 1830. Nov. 606; oder Journ. de ch. méd. 1830. Sept. 540; oder Erdm. J. X. 334.

**) Kastn. Arch. IV. 57.

jedenfalls in gewissem Grade Statt findende Verdampfung von der freien Oberfläche des Tropfens in jedem Augenblicke mehr Wärme entzogen werde, als durch die wenigen Berührungspuncte des Tropfens mit dem Metall zugeführt wird, daher sinke die Temperatur des Tropfens unter den Siedepunct.

Diese Erklärung scheint mir sehr ungenügend zu sein, denn wenn der Tropfen kälter als siedendes Wasser wäre — was jedoch nach Döbereiner's Versuchen nicht der Fall ist — so würde sich der unter dem Tropfen supponirte Dampf von höherer Elasticität daran verdichten müssen und folglich die Wirkung nicht äußern können, die man ihm zuschreibt; überdies vermag unter keinen Umständen eine siedende Flüssigkeit durch die Entwickelung ihrer eigenen Dämpfe sich unter den Siedepunct abzukühlen, sondern nur auf diesem zu behaupten; anderer Umstände nicht zu gedenken, für welche die angegebene Erklärung keine ist, z. B. daß Wasser, welches durch Dinte oder Kohlenstaub undurchsichtig gemacht ist, das Leidenfrost'sche Phänomen nicht zeigt (Biot V. 367).

## Über die Erwärmung des Wasserstoffgases.

Bei Gelegenheit der Erfahrung von de la Rive und Marcet (Schweigg. J. LV. 426), daß das Wasserstoffgas sich schneller durch eine gleiche Wärmequelle erwärmt, als andere Gasarten, während unter den übrigen Gasarten selbst in dieser Hinsicht wenig Unterschied zu bemerken ist, erinnert Prevost *) an frühere Versuche von Achard (in den Denkschriften der Berliner Akademie von 1783), welche zu einem gleichen Ergebnisse führen.

## Über die Grundgesetze der Wärme und das wahre Maß der Temperaturen, von Schitko **).

Voraussetzungen, unter welchen nachstehende Formeln ihre Gültigkeit haben. 1) Ein gegebener Körper dehnt sich für jeden Wärmegrad nicht um einen und denselben aliquoten Theil seines ursprünglichen, d. i., bei einer bestimmten Temperatur zur Einheit angenommenen, Raumes aus, sondern dieser aliquote Theil muß vielmehr auf den Raum bezogen werden, den der Körper bei jedem vorausgehenden Wärmegrade behauptet ***).

*) Ann. de Ch. et de Ph. XL. 332 oder Schweigg. J. LV. 432.

**) Baumg. und Ett. Zeitschr. IV. 436. — Diese Untersuchungen scheinen mir der Aufmerksamkeit nicht unwerth zu sein, wenn sie gleich auf keinen Fall ausreichend sind. In der That würden sie für tropfbare Flüssigkeiten kein Maximum der Dichtigkeit finden lassen, und man muß gestehen, daß die Grundlagen derselben zum Theil problematisch sind. Indeß findet für die festen Körper eine beachtenswerthe Übereinstimmung der beobachteten mit den nach obigen Untersuchungen berechneten Werthen Statt. Von anderen Untersuchungen desselben Verfassers über die Wärme (Baumg. V. 138; VI. 138) wird im Kapitel von der specifischen Wärme die Rede sein.

***) Der analytische Ausdruck dieser (gewiß sehr wahrscheinlichen) Vorausse-

2) Die tropfbaren Flüssigkeiten und festen Körper setzen der ausdehnenden Kraft der Wärme einen Widerstand entgegen, der mit der zunehmenden Raumvergrößerung immer mehr abnimmt, so daß die Ausdehnung dieser Körper für successive gleiche Wärmezuwüchse immer mehr zunimmt.

3) Man kann sich unbeschadet der Sache vorstellen, als würden die Incremente, um welche sich der Körper wegen des abnehmenden Widerstandes mehr ausdehnt, durch einen vermehrten Einfluß der Wärme hervorgebracht, und, indem man bestimmt, um was die Wärmegrade vermehrt werden müssen, um die gesammte Ausdehnung eines Körpers zu erhalten, dann jenen Widerstand aus der Rechnung lassen.

4) Die Incremente der Wärme, welche in der Wirkung mit dem abnehmenden Widerstande gleichgeltend sein sollen, befolgen das quadratische Verhältniß *).

6) Gasarten und Dämpfe setzen der ausdehnenden Kraft der Wärme entweder keinen oder einen sich immer gleichbleibenden Widerstand entgegen.

## Formeln und Gesetze.

Nach vorstehenden Voraussetzungen hat man für das allgemeine Gesetz, nach welchem sich die Körper durch die Wärme ausdehnen, folgende Formeln:

tzung ist folgender: Wenn sich ein gegebener Körper, dessen anfängliches Volumen etwa beim natürlichen Gefrierpuncte $v$ ist, um den $\frac{1}{m}$ Theil dieses Raumes bei dem ersten Wärmegrade ausdehnt; so muß dann sein Rauminhalt $v' = v\left(1 + \frac{1}{m}\right)$ sein. Wird dieser Körper, dessen Volumen nun $v'$ ist, abermals um einen gleichen Grad in seiner Temperatur erhöhet; so wird er aus einem gleichen Grunde, wie vorhin, den Raum

$$v'' = v'\left(1 + \frac{1}{m}\right) = v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2,$$

und überhaupt bei $x$ Wärmegraden den Raum $v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^x$ einnehmen müssen. Wird der anfängliche Raum beim natürlichen Gefrierpuncte zur Einheit gesetzt, so hat man das Volumen des Körpers $= \left(1 + \frac{1}{m}\right)^x$. Bezieht sich der ursprüngliche Raum nicht auf den natürlichen Gefrierpunct, sondern auf irgend einen andern Wärmegrad $x'$, so wird der Rauminhalt des Körpers bei $x$ Graden $= \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{x - x'}$ sein.

*) Diese Annahme macht Schitko nach der Analogie des Newton'schen Gesetzes für die Gravitation. Es möchte indeß sehr problematisch sein, ob diese Analogie hier ihre Gültigkeit hat.

$v$*) $= (1 + \mu)^{x + \alpha x^2}$ oder $\log v = (x + \alpha x^2) \log (1 + \mu)$ (1)

Hierin ist $v$ das Volumen, was der Körper bei den wahren Temperaturgraden $x$ einnimmt, $\mu$ und $\alpha$ aber sind durch Versuche für jeden gegebenen Körper besonders zu bestimmende Constanten, von welchen $\mu$ von der specifischen Ausdehnbarkeit des Körpers durch die Wärme, $\alpha$ von dem Widerstande, den er der Ausdehnung entgegensetzt, abhängt **).

Die Bestimmung von $\alpha$ und $\log (1 + \mu)$ geschieht erfahrungsmäßig nach folgenden Formeln:

$$\log (1 + \mu) = \frac{\log V}{X + \alpha X^2} = \frac{\log V'}{x' + \alpha x'^2} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{x' \log V - X \log v'}{X^2 \log v' - x'^2 \log V} \quad (3)$$

Hierin bedeuten $v'$ und $V$ die durch Versuche bestimmten Volumina, die der Körper respectiv bei den Temperaturgraden $x'$ und $X$ hat.

*) Statt $x^2$ würde in diesen Formen eine andere Function von $x$ stehen müssen, wenn die Incremente der Wärme unter 4) nicht das quadratische Verhältniß, sondern das Verhältniß dieser Function befolgten.

**) Folgendes ist Schitko's Herleitung der Formel (1). Wenn das Increment der Wärme, was der Abnahme des Widerstandes bei Erhöhung um den ersten Wärmegrad gleichgeltend gesetzt werden kann, mit $\alpha$ bezeichnet, und wenn ferner angenommen wird, daß ein gegebener Körper bei constantem Widerstande für den ersten Wärmegrad den Raum $v = 1 + \frac{1}{m}$ einnehmen würde (s. die vorige Anmerkung), so müßte dieser Raum wegen des nachgelassenen Widerstandes in

$$v' = v\left(1 + \frac{1}{m}\right)^{\alpha} = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{1 + \alpha}$$

übergehen. Bei dem zweiten Wärmegrade würde der Körper den Raum

$$v'' = v'\left(1 + \frac{1}{m}\right) = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{2 + \alpha}$$

einnehmen, wenn der Widerstand unverändert derselbe bliebe, wie er zu Ende des ersten Wärmegrades war; da er aber wieder nachläßt und dadurch die Ausdehnung so gewinnt, als wenn die Temperatur um $3\alpha$ erhöht worden wäre; so wird das eigentliche Volumen desselben

$$v''' = v''\left(1 + \frac{1}{m}\right)^{3\alpha} = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{2 + 4\alpha}$$

sein. Aus gleichem Grunde erlangt der Körper bei dem dritten Grade den Raum $\left(1 + \frac{1}{m}\right)^{3 + 9\alpha}$, und überhaupt bei $x$ Wärmegraden den Raum

$$v = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{x + \alpha x^2}$$

Setzt man $\frac{1}{m} = \mu$, so findet man die Formel (1).

Für Gasarten und Dämpfe ist $\alpha = 0$.

Es ist wohl in Betracht zu nehmen, daß in vorstehenden Formeln $x'$, $X$ und allgemein $x$ weder nach den Graden des Quecksilber- noch des Luftthermometers bestimmt werden können. In der That schließen vorstehende Formeln die Folgerung in sich, daß die Ausdehnung weder der Luft noch des Quecksilbers irgends gleichförmig mit den Temperaturzuwüchsen geschieht, daß mithin die gleichen Grade unserer Luft- und Quecksilber-Thermometer ungleichen Wärmezuwüchsen entsprechen. Um nun die an diesen Thermometern beobachteten Temperaturgrade $y$ auf wahre Temperaturgrade $x$ zurückzuführen, legt Schitko den ersten Grad der Centesimalscale als Einheit der wahren Grade zu Grunde, die er übrigens gleich den gewöhnlichen von 0° an rechnet. Dann dient zur Reduction der gegebenen gewöhnlichen Grade der Centesimalscale auf die eigentlichen wahren Temperaturgrade folgende Formel:

$$\log(1 + \mu' y) = (x + \alpha x^2) \log(1 + \mu) \qquad (4)$$

Hierin bedeutet $\mu'$ den Bruchtheil des beim Gefrierpuncte zur Einheit angenommenen Volumens, um den sich der thermometrische Körper für 1 gemeinen Centesimalgrad zwischen Frost- und Siede-Punct ausdehnt*) (für Quecksilber nach Dulong und Petit = 0,00018018, für Luft 0,00375); $y$ die beobachteten gemeinen Grade der Centesimalscale, $x$ die wahren Grade, auf die sie reducirt werden sollen.

$\alpha$ und $\mu$ sind nach den Formeln (3) und (4) durch Versuche zu bestimmen.

Hiernach findet Schitko für das Quecksilberthermometer

$$x = \frac{-1 + \sqrt{1 + 158{,}7850506 \log^{**)} (1 + 0{,}00018018\,y)}}{0{,}00599889} \qquad (5)$$

und für ein Luftthermometer

$$x = \frac{\log(1 + 0{,}00375\,y)}{0{,}00172556} \qquad (6)$$

In folgender Tabelle ist eine Vergleichung einiger gemeiner Centesimalgrade des Quecksilberthermometers $y$ mit den wirklichen Graden $x$, auf die sie reducirt werden sollen, enthalten:

*) Man findet $\mu'$, indem man die Gesammtausdehnung zwischen 0° und 100° durch 100 dividirt.

**) Gewöhnlicher Logarithmus.

Quecksilberthermometer.

| Gemeine Centesimalgrade y | Wirkliche Grade*) x |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 25 | 23,38133 |
| 50 | 44,09769 |
| 75 | 62,87235 |
| 100 | 80,14940 |
| 150 | 111,13111 |
| 200 | 139,07656 |
| 250 | 165,39838 |
| 300 | 187,56359 |
| 360 | 213,35688 |

Folgendes sind die Werthe, die Schitko für $\alpha$ und $\log(1+\mu)$ nach Beobachtungen anderer für verschiedene Körper berechnet hat:

| | $\alpha$ | log**) $(1-\mu)$ | Nach Versuchen von |
|---|---|---|---|
| Luft .... | 0 | 0,00172556 | |
| Quecksilber. | 0,0029991969 | 0,0000780101 | Dulong und Petit. |
| Eisen .... | 0,01116219 | 0,00000399 | Hallström. |
| Kupfer.... | 0,00336067 | 0,000007317 | Horner. Lavoisier. |
| Zink .... | 0,0046175 | 0,0000116 | Horner. |
| Glas .... | 0,07722248 | 0,000000764 | Hallström. |

Vergleichung der Rechnung mit Beobachtungen.

Eine Vergleichung von den unter Zuziehung der vorhin gegebenen Werthe von $\alpha$ und $\log(1+\mu)$ berechneten Ausdehnungswerthen mit wirklich berechneten Werthen ist in folgender Tabelle enthalten. W° bedeutet darin die wirklichen Grade.

*) In der Folge von Schitko's Untersuchungen werden die gemeinen Centesimalgrade stets schlechthin mit C, die wirklichen mit W° bezeichnet.

**) Gewöhnlicher Logarithmus.

### Ausdehnung der Luft.

$\alpha = 0$; $\log(1+\mu) = 0{,}00172556$.

| Quecksilberthermometer | | Volumen der Luft | | | Differenzen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Centesimalgrade. | W°. | Beobachtet. | | Berechnet. | |
| 0 | 0 | 1,0000 | | 1,0000 | 0 |
| 25 | 23,38133 | 1,0965 | Luc. | 1,0973 | + 0,0008 |
| 50 | 44,09769 | 1,1900 | Luc. | 1,1915 | + 0,0015 |
| 75 | 62,87235 | 1,2860 | Luc. | 1,2838 | — 0,0022 |
| 100 | 80,14940 | 1,3750 | | 1,3750 | 0 |
| 150 | 111,3074 | 1,5576 | Dulong. | 1,5551 | — 0,0025 |
| 200 | 139,07656 | 1,7389 | Dulong. | 1,7377 | — 0,0012 |
| 250 | 165,39838 | 1,9189 | Dulong. | 1,9293 | + 0,0104 |
| 300 | 187,56359 | 2,1094 | Dulong. | 2,1069 | — 0,0025 |
| 360 | 213,35688 | 2,3125 | Dulong. | 2,3343 | + 0,0218 |

### Ausdehnung des Quecksilbers.

| Luftthermometer | | Volumen des Quecksilbers | | Differenzen. |
|---|---|---|---|---|
| Centesimal.°. | W°. | Beobachtet | Berechnet | |
| 200 | 140,8426 | 1,0363 | 1,0366 | + 0,0003 |
| 300 | 189,7073 | 1,0552 | 1,0549 | — 0,0003 |

Dulong und Petit haben die Versuche über die Ausdehnung des Quecksilbers, im Vergleich mit der Luftausdehnung, angestellt, und aus mehreren Versuchen das Mittel gezogen. Sie sind in Schweigg. J. XXV. 314 enthalten.

### Ausdehnung des Eisens.

| Quecksilberthermometer | | Längenausdehnung des Eisens | | | Differenzen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Cent.°. | W°. | Beobachtet. | | Berechnet. | |
| 0 | 0 | 1,000000 | Hallström | 1,000000 | — |
| 20 | 18,94886 | 1,000211 | Hallström | 1,000211 | 0,000000 |
| 40 | 36,07627 | 1,000453 | Hallström | 1,000465 | + 0,000012 |
| 60 | 51,81133 | 1,000734 | Hallström | 1,000751 | + 0,000017 |
| 80 | 66,43649 | 1,001063 | Hallström | 1,001063 | 0,000000 |
| 100 | 80,14942 | — | | 1,001396 | — |

Die Versuche, die Hallström über die Längenausdehnung des Eisens angestellt hat, sind aus Gilb. Ann. XXXVI. 64 entnommen, und die Größen $\alpha$ und $\log(1 + \mu)$ aus den Versuchen des 20sten und 80sten Wärmegrades berechnet.

Ausdehnung des Kupfers.

| Quecksilberthermometer | | Längenausdehnung des Eisens | | | Differenzen. |
|---|---|---|---|---|---|
| Cent.°. | W°. | Beobachtet. | | Berechnet. | |
| 0 | 0 | 1,000000 | | 1,000000 | 0,000000 |
| 25 | 23,38133 | 1,000425 | Horner. | 1,000425 | 0,000000 |
| 50 | 44,09769 | 1,000844 | Horner. | 1,000852 | + 0,000008 |
| 75 | 62,87235 | 1,001284 | Horner. | 1,001284 | 0,000000 |
| 100 | 80,14942 | 1,001722 | Lavoisier. | 1,001730 | + 0,000008 |

Die, im Original noch für Zink und Glas beigefügten, Tabellen ergaben eine eben so vorzügliche Übereinstimmung der beobachteten mit den berechneten Werthen, als die vorigen Tabellen.

Um aus der linearen Ausdehnung die cubische, und umgekehrt aus dieser jene zu erhalten, muß, wie leicht einzusehen ist, die entsprechende Größe $\log(1 + \mu)$ im ersten Falle mit 3 multiplicirt, im zweiten mit 3 dividirt werden.

Der Theorie Schitko's würde der Umstand widersprechen, daß nach Gay-Lussac die Ausdehnung expansibler Flüssigkeiten im Zwischenraume zwischen Gefrier- und Siede-Punct regelmäßig und mit dem Quecksilber übereinstimmend sein soll. Hiegegen macht jedoch Schitko die Angabe Dalton's geltend, daß innerhalb dieser Puncte ein Luftthermometer etwa um einen Grad, und zwar um die Mitte der Scale, vorauseile, dann aber beim Siedepuncte wieder mit dem Quecksilberthermometer zusammenfalle, ein Umstand, der in der That durch Schitko's Formeln repräsentirt wird.

In der That findet man dann, daß bei 50° C. des Quecksilberthermometers (= 44,09769 W°) die Ausdehnung eines bei 0° = 1 gesetzten Luftvolumens 0,1915 ist, was, durch Division mit 0,00375 auf gemeine Centesimalgrade des Luftthermometers reducirt, giebt

$$\frac{0,1915}{0,00375} = 51,0667° \text{ C.}$$

Theorem von Sturm.

Sturm hat in einer Abhandlung, wovon eine vorläufige Notiz im Bull. des sc. math. XI. 424 erschienen ist, folgendes Theorem dargethan:

Es sei eine feste Kugel, bestehend aus einer unendlichen Menge unendlich dünner concentrischer Schichten gegeben, deren Dichtigkeit, Wärmecapacität und Leitungsvermögen sich von einer Schicht zur andern nach beliebigen Gesetzen ändert, während diese Umstände in der ganzen Ausdehnung jeder Schicht dieselben sind. Die Schichten mögen ferner willkührliche Anfangstemperaturen haben und die Kugel sich in einem unbegränzten Mittel von constanter Temperatur befinden. Unter diesen Voraussetzungen werden, nach Verfluß einer mehr oder minder langen Zeit, die Temperaturen aller Schichten der Kugel entweder höher sein als die des äußern Mittels, und zugleich von der äußern Oberfläche nach dem Mittelpuncte wachsend, oder alle niedriger als die des äußern Mittels und zugleich von der Oberfläche nach dem Mittelpuncte hin abnehmend. — Dasselbe gilt, wenn die Oberfläche der Kugel auf einer constanten Temperatur erhalten wird. Auch kann dies Theorem auf andere Körper ausgedehnt werden.

Folgendes, von demselben erwiesenes, Theorem gilt für alle Körper von beliebiger Gestalt, mögen sie homogen oder nicht homogen sein.

Wenn ein Körper sich in einem Mittel von constanter Temperatur befindet, oder wenn alle Puncte seiner Oberfläche auf derselben fixen Temperatur erhalten werden, so werden nach einer gewissen Zeit alle Puncte dieses Körpers höhere oder niedrigere Temperatur haben, als das Mittel oder die Oberfläche.

Die vorstehenden Sätze unterliegen übrigens einer Ausnahme, welche Statt hat, wenn die in dem Problem gegebenen Functionen durch eine besondere, von Sturm in seiner Abhandlung näher angegebene, Beziehung verknüpft sind.

## Gleichungen für die Bewegung der Wärme in festen Körpern oder im Raume, von Cauchy*).

Die Gleichungen für diesen Gegenstand sind schon von Fourier und Poisson gegeben, indeß zeigt Cauchy, daß man auf dieselben Gleichungen auch durch Voraussetzungen ganz anderer Art, als jene zu Grunde gelegt haben, geführt werden kann. Er legt die folgenden zu Grunde:

Die Wärme ist eine Flüssigkeit, von welcher jedes Theilchen sich von einem gegebenen Puncte (x, y, z) stets nach derjenigen Richtung bewegt, nach welcher die Dichtigkeitsabnahme (der Wärme) die möglichst stärkste ist, und die Wärmequantität, welche während einer sehr kurzen Zeit dt durch ein Flächenelement hindurchgeht, welches senkrecht auf diese Richtung ist, ist diesem Maximum der Dichtigkeitsabnahme proportional und hängt außerdem noch ab vom Leitungsvermögen des Punctes (x, y, z).

Unter dieser Annahme findet man nämlich Folgendes:

Durch den Punct (x, y, z) sei ein Flächenelement s gelegt und auf dasselbe werde ein Perpendikel errichtet, welches respectiv die Winkel $\lambda$, $\mu$, $\nu$

*) Cauchy Exerc. III. p. 121 ff. 148.

mit den (rechtwinklichen) Axen der positiven x, y, z macht. Es sei k das Leitungsvermögen des Punctes (x, y, z) und $\varrho$ die Temperatur oder die Dichtigkeit der Wärme an derselben, so ist die Quantität Wärme, welche in der Zeit dt durch das Flächenelement s geht, folgendem Ausdrucke proportional:

$$-k\left(\cos\lambda\frac{d\varrho}{dx}+\cos\mu\frac{d\varrho}{dy}+\cos\nu\frac{d\varrho}{dz}\right)$$

Denken wir uns jetzt, das Element s gehöre der äußern Oberfläche eines festen Körpers an, die Temperatur des Elementes sei $\varrho$, die des umgebenden Mittels sei $\sigma$, und die Wärmequantität, welche während des Zeitelementes dt durch s hindurchgeht, sei der Differenz $s-\sigma$ proportional, so hat man

$$-k\left(\cos\lambda\frac{d\varrho}{dx}+\cos\mu\frac{d\varrho}{dy}+\cos\nu\frac{d\varrho}{dz}\right)=K(\varrho-\sigma)$$

wo K einen, das Stralungsvermögen der Oberfläche bezeichnenden, Coefficienten bedeutet.

Ist die Temperatur des äußern Mittels null, so hat man

$$\cos\lambda\frac{d\varrho}{dx}+\cos\mu\frac{d\varrho}{dy}+\cos\nu\frac{d\varrho}{dz}+\frac{K}{k}\varrho=0$$

Endlich findet man noch unter denselben Voraussetzungen die bekannte Formel:

$$\frac{d\varrho}{dt}=k\left(\frac{d^2\varrho}{dx^2}+\frac{d^2\varrho}{dy^2}+\frac{d^2\varrho}{dz^2}\right)$$

wieder.

---

## II. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

### Ausdehnung fester Körper.

Ausdehnung des Glases. Muncke *) fand die lineare Ausdehnung des Würzburger Glases, aus dem die Röhren verfertigt waren, die zu seinen Versuchen über die Ausdehnung der Flüssigkeiten dienten, bei einer Röhre = 0,0000088481, bei einer anderen = 0,0000089815 für 1° C., das Volumen bei 0° C. = 1 gesetzt. Diese Bestimmungen nähern sich sehr dem Resultate von Laplace 0,0000089694. Sie sind die Ergebnisse von höchst sorgfältigen Versuchen, welche auf Vergleichung der

*) Abhandlung über die Ausdehnung der Flüssigkeiten S. 21 in den Petersburger Abhandlungen.

scheinbaren Ausdehnung des Quecksilbers in Röhren von dem zu prüfenden Glase mit der, nach den Versuchen von Dulong und Petit genau bekannten, wahren Ausdehnung des Quecksilbers beruhen.

Ausdehnung des Marmors. Dunn und Sang fanden durch Versuche, hinsichtlich deren Detail wir auf die Originalabhandlung *) verweisen, daß die Linearausdehnung des schwarzen Marmors bei der Temperaturerhöhung von 0° bis 100° C. 0,000450, die des weißen carrarischen Marmors aber 0,001072 der Länge, die er bei 0° hat, beträgt, wonach die Ausdehnung des weißen Marmors mehr als doppelt so groß als die des schwarzen ist. Dieselben zeigten das Experiment vor, einen 34 Zoll langen Marmorstreifen durch Erhitzen mittelst Spirituslampen um $\frac{1}{8}$ Zoll zu verlängern.

Ausdehnung von Messing. Stampfer **) fand die lineare Ausdehnung von Messing (sogenanntes Tafelmessing) durch sehr genaue (im Intervall von 30° bis 50° R. angestellte) Versuche an einer 1 Zoll breiten und 25 Zoll langen Messingschiene = 0,000024 für 1° R., mithin = 0,0000192 für 1° C., welches mit früheren Bestimmungen anderer sehr nahe übereinkommt.

Ausdehnung des Stahles bei der Härtung. Man nimmt an, daß Stahl, wenn man denselben bis auf den Härtungsgrad erhitzt, sich um $\frac{1}{8}$ Zoll im Fuße ausdehnt, und bei dem Härten nur ungefähr um $\frac{2}{3}$ der Länge, um welche er sich ausdehnte, wieder zusammenzieht, vorausgesetzt, daß wirklich Härtung Statt hat; denn sonst zieht er sich beinahe auf seine ursprüngliche Länge zusammen. Indeß fand Tyler, daß diese bleibende Ausdehnung keine nothwendige Folge des Härtens sei, indem er in einer Menge von Fällen, bei dünnen hohlen Cylindern oder flachen Ringen, wo die Abkühlung am leichtesten durch und durch, und beinahe augenblicklich, geschehen konnte, fand, daß keine bleibende Vergrößerung Statt hatte. Dies unterstützt die Ansicht, daß diese Vergrößerung in den anderen Fällen davon abhängt, daß die äußeren Schichten gewöhnlich eher erstarren als die inneren noch ausgedehnten. — Derselbe fand, daß, wenn man kleine Stahlstücke, z. B. von 1 Zoll ins Gevierte und $\frac{3}{8}$ bis $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke wiederholt härtete, dieselben nach drei- bis viermaliger Härtung bedeutend geschwollen waren, und daß jede Härtung ihre Convexität vermehrte, bis endlich in der Mitte einer der Flächen die Oberfläche wirklich barst. (Dingler's polyt. Journ. XXXVIII. 29—33).

Bleibende Ausdehnung des Gußeisens nach öfterm Erhitzen ***). Prinsep bestimmte den Cubikgehalt einer Retorte aus Gußeisen vor dem Erhitzen, und als er sie ein Mal oder öfter einer star-

*) Edinb. N. phil. Journ. 1831. Juny. p. 66; oder Dingler's polyt. Journ. XLI. 275; oder Froriep's Notizen Nr. 2. des XXXII. Bandes S. 18.

**) Pogg. XXI. 66.

***) Brewster's Journ. of sc. Nr. 28. p. 356 oder Baumg. VII. 215.

ken Hitze ausgesetzt hatte, und überzeugte sich, daß sie nach jeder Erhitzung größer ward, selbst nachdem sie ihre ursprüngliche Temperatur wieder angenommen hatte. Er bestimmte ihre Capacität durch das Gewicht von reinem Quecksilber, das sie bei 80° F. faßte. So fand er ihre Capacität

| | | |
|---|---|---|
| vor dem ersten Versuche | = | 9,13 Cubikzoll |
| nach der ersten Erhitzung | = | 9,64 — |
| nach der dritten Erhitzung | = | 10,16 — |

Merkwürdig ist, daß die Zunahme des Volumens größer ist als die Temperatur fordert, welcher das Eisen ausgesetzt war. Eisen dehnt sich innerhalb des Fundamentalabstandes, also für 100° C. um 0,0105 nach einer Dimension, oder um 0,0315 dem Volumen nach aus. Ein Volumen von 10 Cubikzoll sollte demnach bei einer Temperatur von 800° F. (welcher die Retorte ausgesetzt war) um 0,315 Cubikzoll zugenommen haben. Aber der wirkliche bleibende Zuwachs war größer, zum Beweise, daß jene Ausdehnung des Eisens nicht so weit über den Fundamentalzustand hinaus dem Gange der Wärme proportionirt sei.

Ausdehnung des Platins. Daniell *) hat gefunden, daß Platin, welches einer so hohen Temperatur (wenigstens 1300° C.) ausgesetzt worden ist, daß seine Textur dadurch verändert worden ist (indem es, vorher weich, biegsam und von glatter Oberfläche, nach so starker Erhitzung hart, zerbrechlich, von rauher und krystallinischer Oberfläche geworden ist), dennoch dieselbe Ausdehnbarkeit durch die Wärme als vor dem Erhitzen besitzt; denn als die Ausdehnung einer Platinstange bis zum Siedepuncte des Quecksilbers vor und nach dieser Erhitzung in einem Register von Graphit (vergl. das weiterhin zu beschreibende Registerthermometer von Daniell) geprüft ward, zeigte sie sich bis auf eine, in die Gränzen der Beobachtungsirrthümer fallende, Spur von Unterschiede in beiden Fällen gleich. (Durch dieselben Versuche ward auch gefunden, daß die Ausdehnbarkeit des Graphites durch so hohe Temperaturen nicht verändert wird).

### Ausdehnung und Maximum der Dichtigkeit des reinen Wassers.

Die mannichfaltigen Versuche, welche über die Temperatur des Maximums der Dichtigkeit des Wassers und das Ausdehnungsgesetz desselben angestellt worden sind, sind mit besonderer Ausführlichkeit von Hallström in Pogg. Ann. I. erörtert worden, und es schien sich hieraus als der wahrscheinlichste Werth für die Temperatur des Maximums 4°,1 C. zu ergeben. Indessen stimmen sehr genaue Versuche, die neuerdings Muncke einerseits und Stampfer andererseits angestellt haben, dahin überein, daß dieser Punct niedriger liegt, indem ihn ersterer zu 3°,78 C., letzterer zu 3°,75 C. oder 3° R. bestimmt. Dieselben Physiker haben auch Tabellen über die Dichtigkeit des Wassers bei den verschiedenen Temperaturen nach

*) Ann. of Phil. 1831. Nov. p. 355.

Formeln berechnet; welche aus ihren Versuchen abgeleitet sind *). Wir wollen diese Tabellen als die Endergebnisse ihrer Versuche, nach Vorausschickung einiger Resultate Muncke's von allgemeinerm Interesse, hier zuerst mittheilen und dann die erforderlichen nachträglichen Bemerkungen über die Versuche selbst hinzufügen. Eine andere Tabelle, welche neuerdings Markiewitz (in Pogg. Ann. XIX. S. 135) für die Voraussetzung, daß der Punct der größten Dichtigkeit bei 4°,1 C. liege, nach der von Hallström gegebenen Formel berechnet hat, glauben wir übergehen zu können; einerseits, weil diese Voraussetzung jetzt nicht mehr als gültig anerkannt werden kann; zweitens, weil die von Markiewitz berechnete Tabelle bloß eine Ausdehnung der, schon von Hallström selbst von 0° bis 30° berechneten, Tabelle ist, die sich Hallström selbst nach seiner Formel nicht weiter zu berechnen getrauete.

Der Werth des Maximums der Dichtigkeit, wie er oben von beiden Beobachtern angegeben ist, ist nicht direct durch Beobachtung bestimmt, sondern ergiebt sich aus den Formeln, welche das ganze Ausdehnungsgesetz des Wassers auszudrücken dienen. Da aber diese nachher mitzutheilenden Formeln selbst aus den Beobachtungen abgeleitet und eigentlich nur der zusammenfassende Ausdruck derselben sind, so kann man mit Sicherheit schließen, daß jene Bestimmungen des Maximumpunctes auch der Erfahrung entsprechen werden, ja besser entsprechen werden, als wenn sie durch directe Beobachtung versucht würden, da der Umstand, daß die Änderungen des Volumens um den Punct des Dichtigkeitsmaximums nur sehr gering sind, der genauen directen Beobachtung hinderlich in den Weg tritt **). Doch ergeben auch die directen Beobachtungen, daß der Punct des Maximums jedenfalls zwischen 3°,6 und 3°,9 liegen müsse.

In Bezug auf das Verhältniß der Ausdehnungen oberhalb und unterhalb des Punctes des Maximums der Dichtigkeit bemerkt Muncke Folgendes: „Es ist wohl so ziemlich allgemein angenommen, daß von diesem Puncte aus nach beiden Seiten für gleiche Grade der abnehmenden und zunehmenden Temperatur die Ausdehnungen einander gleich sind. Im Ganzen haben auch wir dieses bestätigt gefunden, jedoch schien es uns bei den sehr feinen, absichtlich für diese Bestimmung angestellten, Versuchen, als wenn die Ausdehnungen über diesem Puncte schneller zunähmen, als unter demselben. Der bisher angenommene Satz kann daher noch nicht als ein fest begründetes physikalisches Gesetz gelten. Wenn übrigens ein Unterschied

*) Es verdient Bemerkung, daß die Tabelle Muncke's auf Versuche, welche das ganze Intervall von 0° bis 100° C. umfassen, gegründet ist, die Tabelle Stampfer's dagegen bloß auf Versuche, die zwischen 0° und 26° C. angestellt waren; daher letztere auch nicht bis über 40° C. hinaus berechnet worden ist.

**) In der That blieb die Volumveränderung bei einer um $\frac{1}{4}$ Grad C. sich ändernden Temperatur ganz unmerklich und war für 3° und 4° C. nur um 0,0000097 von dem bei 3°$\frac{1}{2}$ verschieden.

der Ausdehnungen nach beiden Seiten hin Statt findet, so ist derselbe sehr gering und kann nicht anders aufgefunden werden, als wenn man das Wasser mehrere Grade unter dem Gefrierpuncte erkalten läßt und dann seine Ausdehnung findet. Diesen Versuch durften wir aber wegen der unausbleiblichen Gefahr für unsern, mit größter Mühe und vielem Zeitaufwande hergestellten, Apparat nicht wagen, und auf alle Fälle ist die Differenz der Ausdehnung für gleiche Grade über dem Puncte der größten Dichtigkeit des Wassers, und von diesem Puncte aus bis zum Gefrierpuncte, eine unmeßbare Größe, weswegen wir auch eine gleichmäßige Ausdehnung des Wassers vom Puncte seiner größten Dichtigkeit ausgehend nach beiden Seiten hin bei der Berechnung angenommen haben."

| Temperatur C. | Volumen, das bei 0° C. = 1 gesetzt | Dichtigkeit, die bei 0° C. = 1 gesetzt | Volumen, das bei 3°,78 C. = 1 gesetzt | Dichtigkeit, die bei 3°,78 C. = 1 gesetzt |
|---|---|---|---|---|
| 76 | 1,0252697941 | 0,9753530297 | 1,0253805922 | 0,9752476374 |
| 77 | 1,0258932925 | 0,9747602477 | 1,0260040906 | 0,9746549835 |
| 78 | 1,0265250756 | 0,9741603237 | 1,0266358737 | 0,9740551890 |
| 79 | 1,0271653083 | 0,9735531291 | 1,0272761064 | 0,9734481254 |
| 80 | 1,0278141625 | 0,9729835296 | 1,0279249606 | 0,9728336565 |
| 81 | 1,0284718170 | 0,9723163857 | 1,0285826151 | 0,9722116487 |
| 82 | 1,0291384578 | 0,9716865524 | 1,0292492559 | 0,9715819509 |
| 83 | 1,0298142774 | 0,9710488793 | 1,0299250755 | 0,9709444150 |
| 84 | 1,0304994757 | 0,9704032108 | 1,0306102738 | 0,9702988854 |
| 85 | 1,0311992593 | 0,9697493862 | 1,0313050574 | 0,9696452013 |
| 86 | 1,0318988417 | 0,9690872396 | 1,0320096398 | 0,9689831969 |
| 87 | 1,0326134434 | 0,9684166000 | 1,0326242415 | 0,9684064733 |
| 88 | 1,0333382918 | 0,9677372917 | 1,0334490899 | 0,9676335388 |
| 89 | 1,0340736215 | 0,9670491339 | 1,0341844196 | 0,9669455283 |
| 90 | 1,0348196736 | 0,9663519408 | 1,0349304717 | 0,9662484847 |
| 91 | 1,0355766965 | 0,9656455220 | 1,0356874946 | 0,9655422174 |
| 92 | 1,0363449453 | 0,9649296834 | 1,0364557434 | 0,9648265316 |
| 93 | 1,0371246822 | 0,9642042245 | 1,0372354803 | 0,9641012277 |
| 94 | 1,0379161763 | 0,9634689417 | 1,0380269744 | 0,9633661019 |
| 95 | 1,0387197037 | 0,9627236264 | 1,0388305018 | 0,9626209456 |
| 96 | 1,0395355472 | 0,9619680661 | 1,0396463453 | 0,9618655464 |
| 97 | 1,0403639968 | 0,9612020433 | 1,0404747949 | 0,9610996872 |
| 98 | 1,0412152493 | 0,9604162066 | 1,0413260474 | 0,9603140174 |
| 99 | 1,0420599085 | 0,9596377250 | 1,0421707066 | 0,9595357015 |
| 100 | 1,0429279852 | 0,9588389474 | 1,0430387833 | 0,9587371208 |

Die Formel, welche sich aus Muncke's Versuchen nach seiner Berechnung für den Ausdruck des Ausdehnungsgesetzes ergiebt, in welcher jedoch zur Berechnung der vorstehenden Tabelle nur eine geringere Anzahl Decimalstellen in den Coefficienten beibehalten wurde, ist folgende:

$$\begin{aligned}\Delta v = &- 0{,}000059473293438686531352255055\ t \\ &+ 0{,}0000082100290643297898389476 37\ t^2 \\ &- 0{,}000000062140721105613272174439\ t^3 \\ &+ 0{,}00000000028915744694744579154 0\ t^4\end{aligned}$$

Hierin ist $\Delta v$ die Volumenvermehrung für die Temperatur t in Graden C., wenn das Volumen des reinen Wassers bei 0° C. = 1 ist.

Um das Volumen für den Fall zu finden, wo man das Volumen bei dem Puncte des Dichtigkeitsmaximums = 1 setzt, hat man zu jedem, der nach voriger Formel gefundenen, Volumen die Größe: 0,0001107980657925 hinzuzuaddiren.

## Tabelle von Stampfer.

| Temperatur C. | Dichtigkeit, die bei 3°,75 C. = 1 gesetzt. | Differenzen zwischen zwei successiven Dichtigkeiten. | Volumen, das bei 3°,75 C. = 1 gesetzt. | Differenzen zwischen zwei successiven Volumen. |
|---|---|---|---|---|
| — 3 | 0,999627 | | 1,000373 | |
| 2 | 0,999731 | 104 | 1,000269 | 104 |
| 1 | 0,999818 | 87 | 1,000182 | 87 |
| 0 | 0,999887 | 69 | 1,000113 | 69 |
| + 1 | 0,999939 | 52 | 1,000061 | 52 |
| 2 | 0,999975 | 36 | 1,000025 | 36 |
| 3 | 0,999995 | 20 | 1,000005 | 20 |
| 3,75 | 1,000000 | 5 | 1,000000 | 5 |
| 4 | 0,999999 | 1 | 1,000001 | 1 |
| 5 | 0,999988 | 11 | 1,000012 | 11 |
| 6 | 0,999962 | 26 | 1,000038 | 26 |
| 7 | 0,999921 | 41 | 1,000079 | 41 |
| 8 | 0,999865 | 56 | 1,000135 | 56 |
| 9 | 0,999795 | 70 | 1,000205 | 70 |
| 10 | 0,999711 | 84 | 1,000289 | 84 |
| 11 | 0,999613 | 98 | 1,000387 | 98 |
| 12 | 0,999503 | 110 | 1,000497 | 110 |
| 13 | 0,999380 | 123 | 1,000620 | 123 |
| 14 | 0,999244 | 136 | 1,000757 | 137 |
| 15 | 0,999095 | 149 | 1,000906 | 149 |
| 16 | 0,998935 | 160 | 1,001066 | 160 |
| 17 | 0,998763 | 172 | 1,001239 | 173 |
| 18 | 0,998580 | 183 | 1,001422 | 183 |
| 19 | 0,998386 | 194 | 1,001617 | 195 |
| 20 | 0,998180 | 206 | 1,001822 | 205 |
| 21 | 0,997965 | 215 | 1,002039 | 217 |
| 22 | 0,997740 | 225 | 1,002265 | 226 |
| 23 | 0,997504 | 236 | 1,002502 | 237 |
| 24 | 0,997259 | 245 | 1,002749 | 247 |
| 25 | 0,997003 | 256 | 1,003005 | 256 |
| 26 | 0,996740 | 263 | 1,003271 | 266 |
| 27 | 0,996468 | 272 | 1,003545 | 274 |
| 28 | 0,996187 | 281 | 1,003828 | 283 |
| 29 | 0,995898 | 289 | 1,004119 | 291 |
| 30 | 0,995601 | 297 | 1,004418 | 299 |
| 31 | 0,995296 | 305 | 1,004726 | 308 |
| 32 | 0,994984 | 312 | 1,005041 | 315 |
| 33 | 0,994665 | 319 | 1,005363 | 322 |
| 34 | 0,994338 | 327 | 1,005694 | 331 |
| 35 | 0,994004 | 334 | 1,006032 | 338 |
| 36 | 0,993665 | 339 | 1,006375 | 343 |
| 37 | 0 993320 | 345 | 1,006725 | 350 |
| 38 | 0,992968 | 352 | 1,007081 | 356 |
| 39 | 0,992611 | 357 | 1,007444 | 363 |
| 40 | 0,992247 | 364 | 1,007813 | 369 |

Die Formel, nach der die vorstehende Tabelle berechnet wurde, ist folgende:

$$D = 0{,}999887 + 0{,}000060932\ t - 0{,}0000084256\ t^2 + 0{,}00000005800\ t^3 - 0{,}0000000001217\ t^4$$

worin D die Dichtigkeit bedeutet, wenn das Maximum derselben = 1 gesetzt wird, t die Temperatur in Graden C.

Sollte die Dichtigkeit D als Function nicht von Centesimalgraden, sondern von Réaumur'schen Graden gegeben werden, so würde man statt voriger Formel folgende erhalten:

$$D = 0{,}999887 + 0{,}000076165\ t - 0{,}000013162\ t^2 + 0{,}00000011327\ t^3 - 0{,}0000000002972\ t^4$$

Wie man sieht, stimmen die Tabellen beider allerdings nicht ganz überein; doch kommen die Zahlen von Stampfer denen von Muncke näher, als den Zahlen anderweiter Tabellen, wie aus folgender Zusammenstellung erhellt, worin die zweite Spalte die Dichtigkeit nach Stampfer enthält, die anderen Spalten aber bloß die Differenzen der von anderen Physikern gegebenen Zahlen von denen Stampfer's angeben. Die mit I. bezeichnete Spalte bezieht sich auf eine in Gehler's Wört. I. S. 616 enthaltene Tabelle.

| Temperatur C. | Stampfer. | Biot. | I. | Hällström. | Muncke. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 0,999887 | + 0,000038 | + 0,000007 | + 0,000005 | + 0,000002 |
| 5 | 0,999988 | — 0,000003 | + 0,000009 | + 0,000007 | + 0,000001 |
| 10 | 0,999711 | + 0,000019 | + 0,000093 | + 0,000072 | + 0,000011 |
| 15 | 0,999095 | + 0,000076 | + 0,000212 | + 0,000170 | + 0,000034 |
| 20 | 0,998181 | + 0,000138 | + 0,000335 | + 0,000272 | + 0,000067 |
| 25 | 0,997004 | + 0,000188 | + 0,000441 | + 0,000351 | + 0,000107 |
| 30 | 0,995601 | + 0,000193 | + 0,000503 | + 0,000391 | + 0,000145 |
| 35 | 0,994004 | + 0,000137 | + 0,000503 | | + 0,000174 |

Man wird bemerken, daß sämmtliche Differenzen in vorstehender Tabelle positiv, mithin Stampfer's Resultate unter allen die kleinsten sind.

### Bemerkungen zu Muncke's Versuchen.

Die Versuche von Muncke betreffen nicht allein die Ausdehnung des Wassers, sondern noch 9 anderer Flüssigkeiten, wovon wir die Resultate nachher anführen werden. Sie finden sich ausführlich mitgetheilt in den Mémoires présentés à l'Académie impériale des sciences de St. Pétersbourg par divers savans. T. I., die Tabellen, welche die Resultate enthalten, auch größtentheils in Baumg. Zeitschr. X. 366.

Diese Versuche scheinen mit großer Umsicht und Genauigkeit angestellt. Thätig unterstützt wurde Muncke dabei durch einen jungen angehenden Physiker Arnoth und den Candidaten der Forstwissenschaft von König.

Zur Bestimmung der Ausdehnung des, zuvor stark und anhaltend ausgekochten, reinen destillirten Wassers wurden, für das ganze Intervall von 0° bis 100° C., nach vorheriger Bestimmung der Ausdehnungsgröße der zu den Versuchen angewandten gläsernen Meßröhren *), drei Versuchsreihen angestellt, deren genaue Einrichtung, so wie die dabei nöthige Berechnung (welche zur Beseitigung von Rechnungsfehlern von Muncke und Arnoth doppelt geführt ward) in der Originalabhandlung ausführlich auseinandergesetzt ist. Das Mittel aus diesen Versuchen ist für 47 verschiedene Grade des Thermometers als eigentliches Resultat der Versuche genommen und dann die nach den Potenzen der Wärmegrade t geordnete Formel bis zur vierten Potenz so gesucht, wie sie diesem Mittel am besten entsprach. Die Methode der kleinsten Quadrate wurde deshalb nicht zur Bestimmung der Coefficienten der Formel angewandt, weil sie zu Rechnungen mit so vielen Ziffern geführt haben würde, um die Elimination fast unausführbar zu machen, überdies ein einziger hiebei unterlaufender Schreib- oder Rechnungsfehler die ganze Arbeit unnütz gemacht haben würde. Übrigens erhellt aus der Originalabhandlung (S. 49), daß keine Mühe gespart wurde, die genauesten Werthe dieser Coefficienten auch ohne Hülfe dieser Methode zu erhalten.

Eine Zusammenstellung einer Anzahl beobachteter mit den berechneten Werthen wird übrigens am besten zeigen, wie genau sich Formel und Versuche an einander anschließen.

| Temperatur C. | Volumen | | Differenzen. |
|---|---|---|---|
| | nach der Formel. | nach dem Versuche. | |
| 0 | 1,0000000000 | 1,0000000000 | 0,0000000000 |
| 1 | 0,9999486748 | 0,9999553718 | + 0,0000066970 |
| 3 | 0,9998938160 | 0,9998930380 | — 0,0000007780 |
| 5 | 0,9999002974 | 0,9999042710 | + 0,0000039736 |
| 10 | 1,0001670208 | 1,0001588272 | — 0,0000081936 |
| 15 | 1,0007600708 | 1,0007657311 | + 0,0000056603 |
| 20 | 1,0006436852 | 1,0016007439 | — 0,0000429413 |
| 25 | 1,0027864392 | 1,0027746269 | — 0,0000118123 |
| 30 | 1,0041612454 | 1,0041563995 | — 0,0000048459 |
| 35 | 1,0057453538 | 1,0056862924 | — 0,0000690614 |
| 40 | 1,0075203517 | 1,0074831356 | — 0,0000372161 |
| 50 | 1,0115910519 | 1,0116277050 | + 0,0000366531 |
| 60 | 1,0163127918 | 1,0165092732 | + 0,0001964814 |
| 70 | 1,0216944149 | 1,021649951 | — 0,0000794198 |
| 80 | 1,0278141625 | 1,0280525377 | + 0,0002383752 |
| 90 | 1,0348196736 | 1,0347994561 | — 0,0000202175 |
| 100 | 1,0429279852 | 1,0420846576 | — 0,0008433276 |

*) Vergl. S. [illegible].

Die Verfahrungsweise bei den Versuchen selbst war folgende:

Alle Messungen wurden mit thermometerartigen Apparaten angestellt, welche aus einer Glaskugel von 0,75 bis 1,25 Par. Zoll Durchmesser und einem angeblasenen Thermometerröhrchen von 11 Zoll Länge bestanden. Sie waren von dem bekannten, in Arbeiten dieser Art sehr geübten, Mechanicus Loos in Darmstadt aus Würzburger Glase verfertigt. Auf die Röhrchen war mit den feinsten Strichen eine Scale von 200 gleichen Theilen geätzt. Sie waren darauf mit reinem Quecksilber gefüllt und nach Art der Thermometer vollständig ausgekocht worden. Auf solche Weise gefertigt und bis obenhin mit Quecksilber gefüllt erhielt sie der Verfasser vom Künstler und benutzte sie dann zu den Versuchen. Zum Messen der Temperaturen wurde ein gewöhnliches, bis 80° R. und ein anderes bis 280° R. getheiltes Quecksilberthermometer, gleichfalls von Loos, mit auf Glas geätzten Scalen angewandt, bei denen die Richtigkeit der beiden festen Puncte vorläufig berechnet wurde, und die zu noch größerer Sicherheit mit 6 anderen verglichen wurden. Ein drittes, von — 30° bis + 30° R. gehendes, Thermometer, welches in Gebrauch gezogen ward, war vom jüngern Greiner in Berlin verfertigt. Jeder Grad daran war in fünf Theile getheilt, wovon 0,5 eines Theiles und bei erfoderlicher Übung 0,25 desselben mit genügender Sicherheit geschätzt werden kann, so daß die Beobachtungen der Verfasser für einige, dicht bei dem Nullpuncte liegende, Temperaturen bis auf $\frac{1}{4}$° R. unmittelbar, und bis auf $\frac{1}{20}$° R. noch nach immer sehr sicherer Schätzung gingen. Wie die Parallaxe beim Ablesen der Theilstriche vermieden ward, ist in der Originalabhandlung ausführlich angegeben.

Meßröhre und Thermometer wurden in einen irdenen Topf mit Wasser gesenkt, jedoch nicht so, daß sie den Boden berührten, welches nie richtige Resultate gab, sondern der Beobachter hielt die Röhren beider Instrumente zwischen den Fingern möglichst in der lothrechten Axe des Topfes schwebend, die Durchmesser beider Kugeln in einer horizontalen Ebene, und maß die Tiefe der Einsenkung nach derjenigen Höhe ab, bis zu welcher die Flüssigkeit im Meßröhrchen schon aufgestiegen war, um den Stand der Flüssigkeit und die Scale über dem Rande des Topfes bequem erkennen und letztere genau ablesen zu können. Der Topf selbst stand in einem blechernen Gefäße mit etwa 2,5 Zoll hohem Rande, welches theils zur Aufnahme des überfließenden Wassers diente, theils zur Erhaltung einer constanten Temperatur beförderlich war, zu welchem Ende dasselbe mit Wasser von nahe der nämlichen Temperatur gefüllt ward, als welche im Topfe selbst bleibend erhalten werden mußte. Dem Wasser im Topfe wurde die erfoderliche Wärme durch Zugießen von heißem Wasser oder durch Beimischung von etwas Schnee gegeben, welche beide in Gefäßen nahe zur Hand bereit gehalten wurden. Durch dies Mittel wurde zuerst das Wasser auf die erfoderliche Temperatur gebracht, und um es dann die gehörige Zeit unverändert darauf zu erhalten, da die Kugel der Meßröhre ungleich größer

und außerdem die Empfindlichkeit in diesem Apparate größtentheils ungleich geringer gegen den Einfluß des umgebenden Wassers war, als die des Quecksilbers im Thermometer, wurden in kurzen Zeitintervallen so geringe Quantitäten heißen Wassers oder Schnees zugesetzt, daß die Temperatur des Wassers im Topfe eine beliebige Zeit lang unverändert blieb, auf allen Fall so lange, bis die Flüssigkeit im Meßröhrchen anhaltend einen bleibenden Stand zeigte.

Dies, bei Temperaturen zwischen etwa 10° und 30° C. leicht ausführbare Verfahren ward indeß sehr beschwerlich und langweilig für höhere Grade und reichte von etwa 60° C. an überhaupt nicht mehr aus, um dem Wasser die erfoderliche Temperatur bleibend zu erhalten. Hier bedienten sich dann die Experimentirenden zweier Weingeistlampen, deren eine durch ihre größere Flamme die Wärme des Wassers zu erhöhen diente, die andere aber so eingerichtet war, daß sie möglich genau hinreichte, die erfoderliche Temperatur des Wassers bleibend zu erhalten. Ein beständiges Geschäft eines der Experimentatoren war hiebei, das Wasser in dem Topfe beständig umzurühren, indem die Beobachtung zeigte, daß erwärmtes Wasser kaum einige Secunden ruhig stehen darf, ohne sich in Schichten ungleicher Temperatur zu theilen, so daß das Thermometer in unbewegtem Wasser fast augenblicklich seinen Stand veränderte und bei einer nur geringen Veränderung der Tiefe, bis zu welcher es eingetaucht war, um mehr als einen ganzen Grad stieg oder fiel.

Da die Röhren der Meßapparate zu kurz waren, als daß die ganze Ausdehnung der in ihnen enthaltenen Flüssigkeiten in einer einzigen Reihenfolge von Beobachtungen gemessen werden konnte, so mußte ein Theil der Flüssigkeit herausgenommen werden, wenn sie dem Ende der Scale nahe gekommen war, mit der verminderten Quantität wurde dann eine oder noch einige der letzten Beobachtungen wiederholt, um hiedurch die Quantität der herausgenommenen Flüssigkeit zu bestimmen.

### Bemerkungen zu Stampfer's Versuchen.

Stampfer, Professor am K. K. polytechnischen Institute zu Wien, hat seine Versuche zunächst in der Absicht angestellt, das absolute Gewicht des Wassers mit möglichster Schärfe in Wiener Maß und Gewicht festzusetzen. Diese Versuche, welche ebenfalls mit großer Genauigkeit und Umsicht angestellt zu sein scheinen, finden sich in allem Detail in den Jahrbüchern des K. K. polytechnischen Institutes in Wien, Band XVI., und in sehr vollständigem Auszuge hieraus in Pogg. Ann. XXI. 75 beschrieben.

Das von Stampfer angewandte Verfahren war ein wesentlich anderes, als das von Muncke, denn während letzterer die Ausdehnung des Wassers bei den verschiedenen Temperaturen direct maß, bestimmte Stampfer vielmehr die Dichtigkeit des Wassers bei verschiedenen Temperaturen durch die bekannte Methode der Abwägung eines Körpers von constantem Volumen darin. Zu dem Ende ließ er in der Werkstatt des K. K. poly-

0° bis 25° R. zu erhalten, zu verschiedenen Jahreszeiten, und suchte auf diese Weise die jedesmalige Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft möglichst klein zu machen. Aus, in der Originalabhandlung beigefügten, Erörterungen schließt übrigens der Verfasser, daß, wenn wie bei den Versuchen geschehen, die beiden Thermometer jedesmal in eine Wasserschicht, welche durch den Mittelpunct des Cylinders ging, gebracht wurden, die von der Temperaturdifferenz der verschiedenen Wasserschichten abhängigen Fehler höchstens die sechste Decimalstelle im specifischen Gewicht des Wassers afficiren, so lange die Temperatur des Wassers und der umgebenden Luft nicht über 80° R. beträgt.

Bei der Abwägung des Cylinders im Wasser wurde so verfahren. Durch Wegnahme oder Zulegung von kleinen Gewichten wurde das Gleichgewicht etwas gestört, hierauf die Zeit des scharfen Einspielens der Zunge abgewartet, und für diesen Moment der Stand der beiden Thermometer im Wasser, die Temperatur der umgebenden Luft, die Summe der Gewichte in der Schale, und um die Geschwindigkeit der Temperaturänderung des Wassers und die Zwischenzeit der Versuche ersehen zu können, auch die Uhrzeit aufgeschrieben. Diese Operation wurde in der Nähe eines ganzen Grades der im Wasser befindlichen Thermometer mehrmals wiederholt, und aus den einzelnen Beobachtungen das Mittel genommen.

Die Reduction der Wägungsversuche geschah, wie natürlich, auf den leeren Raum.

Zur Berechnung der, auf die Versuche gegründeten, Formel wurde die Methode der kleinsten Quadrate angewandt.

## Über die Kraft der Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren *).

Während des Winters 1828 und 1829 wurden im Arsenal zu Warschau folgende Versuche über die Kraft, mit welcher das Wasser sich beim Gefrieren auszudehnen strebt, angestellt:

Es wurde eine Haubitze von Gußeisen von 6 Zoll 8 Linien Durchmesser, 1 Zoll 2 Linien Öffnung und 1 Zoll 2 Linien Wanddicke, die 46,29 Cubikzoll faßte, bei einer Lufttemperatur von 21° F. (= 4°,88 R.) mit Wasser von 41° F. (= 4° R.) angefüllt. Als das Wasser gefroren war, ragte aus dem Halse der Kugel ein Eiscylinder von dem Durchmesser der Öffnung hervor, und wuchs innerhalb zwei Stunden auf eine Länge von 2 Zoll 2 Linien an. Weiter fand keine Zunahme desselben Statt, so daß man daraus ersehen kann, das Volumen des Wassers habe beim Gefrieren um 2,31 Cubikzoll oder um $\frac{1}{20}$ zugenommen. Eine andere Kugel wurde mit Wasser gefüllt, mit einem Holzpfropf verkeilt und dann der oben genannten Temperatur ausgesetzt. Da wurde der Propf herausgetrieben und sein Platz von Eis eingenommen. Eine dritte Kugel wurde, nachdem sie

*) Bibl. univ. 1830. Févr. p. 314 oder Baumg. Zeitschr. VIII. [illegible].

mit Wasser gefüllt war, durch eine eiserne Schraube verschlossen und wieder obiger Kälte ausgesetzt. Nach 7 Stunden borst die Kugel in zwei ungleiche Theile, wovon der kleinere 10 Fuß, der größere 7 Fuß von Ort und Stelle geschleudert wurde, und doch hatte sich nur eine 6 Linien dicke Eiskruste gebildet, der Rest war flüssig geblieben. Endlich ward noch eine andere Kugel mit Wasser von 46° F. (= 6°,22 R.) gefüllt, die Öffnung mit einer 6 Linien dicken Schraube geschlossen und in die Luft gebracht, die eine Temperatur von 28° F. (= —1°,77 R.) hatte. Auch diese borst in zwei ungleiche Theile, deren einer 4 Fuß weit hinweg flog. Die entstandene Eiskruste war 13 Linien dick, der Rest blieb flüssig. Bei einem ferneren Versuche dieser Art betrug die Dicke der Kruste Eis, welches sich beim Bersten der Kugel zeigte (das wieder bei 28° F. erfolgte), 5 Linien.

### Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten durch die Wärme.

Wie S. 418 angegeben, hat Muncke außer der Ausdehnung des reinen Wassers durch die Wärme auch gleichzeitig die von verschiedenen anderen Flüssigkeiten untersucht. Wir wollen diese zuerst, mit Hinzufügung einiger Bemerkungen bei jeder, namhaft machen, dann die Formeln mittheilen, welche Muncke aus diesen Versuchen für das Gesetz ihrer Ausdehnung abgeleitet hat, und nach denen sich die Ausdehnung für jeden beliebigen Grad berechnen läßt; darauf ausführliche Tabellen wenigstens für Alkohol und Schwefelsäure, als die wichtigsten Flüssigkeiten, hersetzen Verlangt man irgend ein Datum für eine andere der angegebenen Flüssigkeiten (bei denen wir bloß einige wenige Werthe mittheilen werden), so kann man es entweder aus den beigebrachten Formeln leicht ableiten, oder man findet auch die dafür geltenden Tabellen in Baumg. Zeitschr. X. 366.

Die Versuche wurden mit demselben Apparate angestellt, als die über die Ausdehnung des Wassers, und mit gleicher Sorgfalt berechnet. Bei den Beobachtungen unter dem Gefrierpuncte wurde die Meßröhre nebst dem Thermometer zugleich in die kaltmachende Mischung gesenkt, so daß die Kugeln beider in unmittelbarer Berührung waren; auch wurden diese Versuche bei strenger Winterkälte angestellt. Doch überzeugten sich die Experimentatoren schon während der Versuche, daß wegen der ungleichen Empfindlichkeit der in den Kugeln enthaltenen Substanzen gegen die, wenn gleich langsamen, Änderungen der Temperatur, auch weil an einzelnen Stellen die Mischung durch unbekannte Einflüsse ungleich erkaltet sein konnte, die hier erhaltenen Resultate an Genauigkeit denjenigen weit nachstehen, die über dem Gefrierpuncte erhalten wurden, obgleich das, zur Aufnahme der Apparate dienende, Gefäß in einem weit größern, gleichfalls mit Schnee und Kochsalz gefüllten, stand und die Bestandtheile der Mischung in jenem vor dem Hereinsenken der Apparate mit einem hölzernen oder gläsernen Rührstabe stark und lange unter einander gemengt wurden.

Die Beobachtungen über dem Gefrierpuncte wurden wie beim Wasser angestellt. Für Temperaturen über dem Siedepuncte des Wassers ward

ein Gefäß mit Olivenöl und die Weingeistlampe angewandt (wobei das Dampfen des Öles allerdings sehr lästig war). Das Öl ward hiebei beständig umgerührt.

Sämmtliche Flüssigkeiten (mit Ausnahme des aus einer guten Officin bezogenen Mandelöls) waren Muncke'n von dem ausgezeichneten Chemiker L. Gmelin mitgetheilt worden, so daß die Reinheit derselben keinem Zweifel unterliegt. Bei den Flüssigkeiten, wo die Temperaturgrade über 100° C. steigen, sind Grade des Luftthermometers zu verstehen, indem die beobachteten Grade des Quecksilberthermometers hierauf reducirt worden sind.

1) Seewasser, künstlich von Gmelin nach den genau abgemessenen Bestandtheilen des wirklichen Seewassers bereitet, wobei die Analysen von Vogel und Lagrange zu Grunde gelegt wurden. Die Versuche umfassen das Intervall von 0° bis 100° C. Sowohl die Differenzen der durch die Beobachtung erhaltenen Werthe, als auch die spätere Berechnung derselben zeigten, daß die Beobachtungen darüber zu den vorzüglich genauen gehörten *). Aus den Versuchen wie aus der Formel geht hervor, daß über dem Nullpuncte kein Maximum der Dichtigkeit Statt findet. Nach der Formel liegt es bei — 5°,½ C., und eine von Muncke angeführte Beobachtung zeigt, daß bei — 1°,25 C. wirklich noch eine Verminderung des Volumens Statt findet, was mit des jungen Erman Untersuchungen (Pogg. XII. 463) völlig übereinstimmt, welche zugleich gezeigt haben, daß minder gesalzenes Wasser allerdings noch einen Punct größter Dichtigkeit über dem Gefrierpuncte darbietet, der aber tiefer als der des reinen Wassers ist. Insofern man Grund hat anzunehmen, daß der Punct des Dichtigkeitsmaximums einer Flüssigkeit in der Nähe ihres Gefrierpunctes liegt, stimmt übrigens obiges Ergebniß der Formel über das Dichtigkeitsmaximum beim Seewasser auch sehr gut mit der Angabe Wrangel's, daß Seewasser bei — 5° C. zu krystallisiren anfängt.

2) Alkohol. Der angewandte Alkohol war als absol. Alkohol von Gmelin nach Richter's Methode bereitet und zeigte mittelst ganz genauer Bestimmungen ein specifisches Gewicht 0,808 bei 12°,5 C.**), was zufolge der nachstehenden Versuche auf 20° C. reducirt, ein specifisches Gewicht 0,801 geben würde, während nach Richter und Meißner das specifische Gewicht des absoluten Alkohols bei 20° C. = 0,792 oder = 0,791 sein soll. Es muß dahin gestellt bleiben, ob letztere Bestimmungen des specifischen Gewichtes von abs. Alkohol, die mit minder genauen Instrumenten angestellt waren, nicht ganz richtig sind, oder ob der von Gmelin bereitete Alkohol nicht ganz wasserfrei war.

*) Zu bemerken ist, daß dies Wasser nicht wie das destillirte Wasser vor der Anwendung lang und anhaltend gekocht, sondern bloß bis zu anfangendem Sieden erhitzt ward, um nicht durch Verdampfung sein Mischungsverhältniß zu ändern; da es indeß frisch bereitet war, konnte es nur wenig Luft enthalten.

**) Auf das specifische Gewicht des Wassers bei derselben Temperatur = 1 bezogen.

Die Formel, nach welcher die Tabelle berechnet ist, gründet sich auf zwanzig Beobachtungen, welche das Intervall von 0° bis 72°,5 C. umfassen *). Die Behauptung, die Tralles (Gilbert XXXVIII. 364) nach seinen Versuchen aufgestellt hat, die Ausdehnung des absoluten Alkohols sei zwischen — 26°,11 und + 37°,22 C. ganz gleichförmig und betrage für 1° C. zwischen diesen Gränzen 0,000846 seines Volumens, muß nach Muncke's Versuchen für irrig erklärt werden. — Das Maximum der Dichtigkeit des Alkohols würde durch Berechnung nach der Formel bei — 56°,6 C. fallen. — Hinsichtlich der wahrscheinlichen Übereinstimmung dieses Punctes mit der Erfahrung erinnert Muncke, daß nach dem Berichte Parry's auf dem Verdecke seines Schiffes bei der Melville-Insel in einer Temperatur, welche — 45° C. und auf kurze Zeit — 48°,5 C. als ihr Maximum erreichte, der stärkste Cognac zu einer syrupartigen Masse gestand, wonach man vermuthen kann, daß der Gefrierpunct oder wenigstens der Punct des Dichtigkeitsmaximums beim Alkohol nicht so sehr tief unter dieser Temperatur liegen wird. Zwar behauptet Hutton, Alkohol von 0,798 specifischem Gewichte bei 79° C. zum Gefrieren gebracht zu haben; indeß scheint

*) Die Tabelle ist, wie man sieht, bis zu Graden weit unter 0° fortgesetzt, ungeachtet die Versuche, aus welchen die zu ihrer Berechnung dienenden Formeln hergeleitet wurden, bloß Temperaturen über 0° betreffen. Zwar wurden auch bei Temperaturen unter 0° Versuche angestellt, allein diese boten wegen mehrerer hinderlicher Umstände keine hinlängliche Übereinstimmung dar, daher es Muncke gerathener fand, sie bei der Berechnung nicht mit zuzuziehen. Muncke selbst äußert übrigens in Bezug auf die Zuverlässigkeit jener Ausdehnung der Tabellen Folgendes: „Nach meiner festen Überzeugung erwächst indeß aus der Mangelhaftigkeit dieser Versuche in niederen Temperaturen durchaus kein wesentlicher Nachtheil. Es folgt nämlich schon aus früheren Versuchen, namentlich mit Alkohol, und geht aus den unsrigen mit dem höchsten Grade der Gewißheit hervor, daß mit Ausnahme des reinen Wassers jede Flüssigkeit, so lange sie ihren Aggregatzustand nicht ändert, das ihr eigenthümliche Gesetz der Ausdehnung durch Wärme, ohne Abweichung befolgt, und da unsere Versuche über die Vermehrung des Volumens beim Alkohol in den Temperaturen über dem Gefrierpuncte unter die allergenauesten gehören, so kann ich es durchaus nicht für zweifelhaft halten, daß sich das Gesetz der Ausdehnung desselben aus ihnen mit vollkommener Schärfe finden und auch auf die Temperaturen unter dem Gefrierpuncte ausdehnen lasse, um so mehr als es bei der Unzuverlässigkeit der bekannten Angabe Hutton's und einigen von mir in Verbindung mit meinem Collegen L. Gmelin vermittelst der flüssigen schwefligen Säure nach Bussy angestellten Versuchen sehr zweifelhaft ist, ob sich durch die bis jetzt bekannten Mittel ein Grad der künstlichen Kälte erreichen lasse, wodurch der absolute Alkohol seinen Aggregatzustand ändert. Eben deswegen, und mit besonderer Rücksicht auf die von uns in den Temperaturen unter dem Gefrierpuncte des Wassers angestellten Beobachtungen, wodurch im Allgemeinen sehr sichtbar wurde, daß sich das Volumen des Alkohols stets der Wärmeabnahme proportional verminderte, ohne daß jedoch die erhaltenen Größen uns zur Begründung eines Gesetzes genügend schienen, trage ich nicht das mindeste Bedenken, das aus unseren Versuchen über dem Gefrierpuncte des Wassers erhaltene Gesetz der Ausdehnung dieser Flüssigkeit auch auf die Temperaturen unter dem Gefrierpuncte anzuwenden.“

seine Angabe nicht viel Zutrauen zu verdienen, denn es ist bisher Niemandem gelungen, seine Resultate zu reproduciren.

3) Schwefeläther. Der angewandte Äther hatte ein specifisches Gewicht 0,733 bei 12°,5 C., die Ausdehnungen desselben wurden von — 21° C. bis + 40° C. bestimmt. Da der Siedepunct des reinen Äthers schon bei + 35° C. liegt, so scheint es für den ersten Anblick auffallend, daß die Versuche noch weiter fortgesetzt werden konnten. Dies beruhete auf dem merkwürdigen Umstande, daß der Äther, der in offenen Gefäßen wirklich bei 35° C. kochte, und der auch in eben der (thermometerartig eingerichteten) Meßröhre, so lange er bloß die Kugel, nicht aber die enge Röhre, füllte, bei 35° kochte, erst bei 40°, ja bei 42°, zum Kochen kam, wenn er sich in der engen Röhre 6 bis 10 Zoll hinauf erstreckte. Diese Verschiedenheit hat nach der Meinung des Verfassers darin ihren Grund, daß die Dämpfe im letzten Falle, indem sie sich unten entwickeln, nicht bloß den Druck der Atmosphäre, sondern auch noch den Widerstand zu überwinden haben, den die Abhäsion der Flüssigkeit ihrem Aufsteigen entgegensetzt.

Der Punct der größten Dichtigkeit des Äthers, nach der Formel bestimmt, fällt nahe genau auf — 36° C. Indem nun der Äther nach Fourcroy und Vauquelin schon bei — 31° C. glänzende Blättchen absetzt, bei — 44° C. aber zu einer weißen krystallinischen Masse gesteht, findet es Muncke hiermit ganz übereinstimmend, daß nach der Formel das Dichtigkeitsmaximum fast genau zwischen diesen beiden Temperaturen in die Mitte fällt, denn $\frac{31 + 44}{2} = 37{,}5$.

4) Rectificirtes Steinöl, von 0,78125 specifischem Gewicht bei 12°,5 C. Die Beobachtungen gehen von 0° bis 95° C. — Der Punct der größten Dichtigkeit fällt nach der Formel sehr nahe bei — 71° C.

5) Ätzammoniakflüssigkeit, von 0,9465 bei 12°,5 C. Die Beobachtungen gehen von — 15° C. bis + 45° C. Man findet aus der Formel, daß diese Flüssigkeit kein Maximum der Dichtigkeit hat, dagegen läßt sie ein Maximum der Ausdehnung bei 74°,8 C. finden, was unstreitig anzeigt, daß, wenn die Flüssigkeit stärker erhitzt wird, alles Gas entweicht und die Flüssigkeit nicht mehr bleibt, was sie sein soll.

6) Salzsäure, von 1,1978 specifischem Gewicht bei 12°,5 C. Die Versuche gehen von — 20° C. bis + 45° C. Die Formel giebt keinen Punct der größten Dichtigkeit, aber ein Maximum der Ausdehnung, welches zwischen 87°,5 und 88° C. liegt.

7) Salpetersäure, von 1,4405 specifischem Gewicht bei 12°,5 C. Die Versuche gehen von — 20° C. bis + 115° C. Die Formel giebt keinen Punct der größten Dichtigkeit, aber ein Maximum der Ausdehnung bei 186°,3 C.

8) Schwefelsäure, von 1,836 specifischem Gewichte bei 12°,5 C. Die Versuche gingen von — 30° bis + 230° C. (auf Luftthermometer

Zu Seite 429.

| | d |
|---|---|
| 1 | + 0,000000000028915745 |
| 26 | + 0,0000000000617807 |
| 0419004315 | + 0,00000000003636458689 21277 |
| 845739989 | + 0,000000000414664587821 3055 |
| 197943853 | + 0,0000000000195067741620050 |
| 097884 | — 0,0000000001046984006512 |
| 0019800973 | — 0,000000000047215632907 4913 |
| 021389333.... | — 0,00000000001982409724 0444.... |
| 506660363 | + 0,0000000000283244371228617 |
| 0350755775932 02 | + 0,00000000000252167097125 90488123 |
| 08624526119 | — 0,00000000000159750790 3370642 |

...hen sind, die zur Herleitung der Formel gedient haben.

reducirt); doch wurden bloß die Beobachtungen über 0° zur Herleitung der Formel zugezogen, da der Verfasser Ursache hatte, den Beobachtungen unter 0° nicht ganz dasselbe Zutrauen zu schenken, als den über 0°. Es sind zwei Formeln gegeben und hienach zwei Tabellen berechnet worden; die eine Formel wurde nämlich aus sämmtlichen Beobachtungen von 0° bis 230° C. abgeleitet, die andere bloß aus den von 0° bis 100° C. Zufolge Erörterungen, die in einem nachfolgenden Artikel folgen werden, läßt sich mit Fug annehmen, daß die aus den Beobachtungen bloß zwischen 0° und 100° C. abgeleitete Formel genauere Resultate für alle Temperaturen, die zwischen — 100° C. und + 100° C. liegen, giebt, als die andere, dagegen sie unzulässig wird, wie auch aus der Ansicht der Tabelle selbst hervorgeht, für höhere Temperaturen, wo die andere Formel brauchbarere Resultate giebt. Wahrscheinlich sollten eigentlich für höhere Temperaturen noch mehr Glieder in die Formel aufgenommen werden.

Was den Punct des Maximums der Dichtigkeit anlangt, so ergiebt er sich nach der, aus Temperaturen bloß zwischen 0° und 100° C. abgeleiteten, Formel = — 39°,2.

Wirklich gefriert nach Thomson das zweite Schwefelsäurehydrat, dessen specifisches Gewicht = 1,845, in Thermometerkugeln bei — 39° C., welches somit hiermit sehr gut übereinstimmen würde. Wollte man den Punct des Dichtigkeitsmaximum aus der, aus den Beobachtungen von 0° bis 230° C. abgeleiteten Formel herleiten, so würde er sich bei — 104° C. ergeben, welcher Werth unstreitig nach dem viel höhern Frostpuncte der Schwefelsäure nicht zuverlässig sein kann.

9) Gutes feines Mandelöl aus einer guten Officin. Das specifische Gewicht wurde nicht bestimmt. Die Versuche wurden von 0° bis 120° (Luftthermometer) in Rechnung genommen. Das Öl hat nach der Formel kein Maximum der Dichtigkeit; dagegen fällt ein Maximum der Ausdehnung nach der Formel nahe genau bei 296° C. Dies stimmt bemerkenswerther Weise mit dem Umstande überein, daß die Zersetzung des Öles bei ungefähr 300° C. beginnt.

## Formeln für die Ausdehnung der verschiedenen Flüssigkeiten.

Es sei $\Delta v$ die Volumenvermehrung, welche die Flüssigkeit erfährt, wenn man sie bis zu t Centesimalgraden erwärmt, das Volumen der Flüssigkeit bei 0° C. = 1 gesetzt. Man hat dann für die verschiedenen Flüssigkeiten folgende allgemeine Formel:

$$\Delta v = at + bt^2 + ct^3 + dt^4$$

Hierin haben a, b, c, d für die verschiedenen Flüssigkeiten verschiedene Werthe, die sich nach Muncke's Versuchen folgendergestalt bestimmen.

(Hieher die eingeheftete Tabelle).

## Tabellen über die Ausdehnung der Flüssigkeiten.

### Volumen des Seewassers.

| Temperatur C. | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. |
|---|---|---|
| 0 | 1,0000000000 | 1,00000000 |
| + 5 | 1,0004136016 | 1,00043545 |
| 50 | 1,0136704155 | 1,01360053 |
| 95 | 1,0404471284 | 1,04044010 |
| 100 | 1,0441787935 | 1,04420981 |

### Volumen des Alkohols von 0,808 specifischem Gewicht bei 12°,5.

a) Berechnete Tabelle.

| C. | Volumen. | Dichtigkeit. | C. | Volumen. | Dichtigkeit. |
|---|---|---|---|---|---|
| −50 | 0,9653257647 | 1,0359197252 | −25 | 0,9779158364 | 1,0225828878 |
| −49 | 0,9655474921 | 1,0356818338 | −24 | 0,9786640867 | 1,0218010588 |
| −48 | 0,9657974075 | 1,0354138375 | −23 | 0,9794266222 | 1,0210055325 |
| −47 | 0,9660748501 | 1,0351164708 | −22 | 0,9802030004 | 1,0201968363 |
| −46 | 0,9663791677 | 1,0347905184 | −21 | 0,9809927875 | 1,0193754864 |
| −45 | 0,9667097171 | 1,0344366900 | −20 | 0,9817955581 | 1,0185410718 |
| −44 | 0,9670658637 | 1,0340557324 | −19 | 0,9826108977 | 1,0176968344 |
| −43 | 0,9674469812 | 1,0336483750 | −18 | 0,9834383926 | 1,0168405134 |
| −42 | 0,9678524536 | 1,0332153380 | −17 | 0,9842776501 | 1,0159734907 |
| −41 | 0,9682816697 | 1,0327573384 | −16 | 0,9851282775 | 1,0150962294 |
| −40 | 0,9687340324 | 1,0322741501 | −15 | 0,9859898935 | 1,0142091786 |
| −39 | 0,9692089496 | 1,0317692593 | −14 | 0,9868621251 | 1,0133127765 |
| −38 | 0,9697058394 | 1,0312405673 | −13 | 0,9877446083 | 1,0124074498 |
| −37 | 0,9702241280 | 1,0306896841 | −12 | 0,9886369877 | 1,0114936140 |
| −36 | 0,9707632507 | 1,0301172807 | −11 | 0,9895389167 | 1,0105716745 |
| −35 | 0,9713226511 | 1,0295240195 | −10 | 0,9904500573 | 1,0096420235 |
| −34 | 0,9719017822 | 1,0289105528 | − 9 | 0,9913700802 | 1,0087050436 |
| −33 | 0,9725001049 | 1,0282775240 | − 8 | 0,9922986652 | 1,0077611057 |
| −32 | 0,9731170897 | 1,0276255659 | − 7 | 0,9932355004 | 1,0068105697 |
| −31 | 0,9737522153 | 1,0269553016 | − 6 | 0,9941802828 | 1,0058537846 |
| −30 | 0,9744049691 | 1,0262673444 | − 5 | 0,9951327182 | 1,0048910881 |
| −29 | 0,9750748482 | 1,0255623959 | − 4 | 0,9960925208 | 1,0039228075 |
| −28 | 0,9757613561 | 1,0248407499 | − 3 | 0,9970594141 | 1,0029492585 |
| −27 | 0,9764640072 | 1,0241032876 | − 2 | 0,9980331299 | 1,0019707463 |
| −26 | 0,9771823230 | 1,0235504807 | − 1 | 0,9890134086 | 1,0009875657 |

| C. | Volumen. | Dichtigkeit. | C. | Volumen. | Dichtigkeit. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,000000000 | 1,000000000 | 36 | 1,0383247623 | 0,9630898119 |
| 1 | 1,0009926616 | 0,9990083228 | 37 | 1,0394484702 | 0,9620486533 |
| 2 | 1,0019911607 | 0,9980127962 | 38 | 1,0405754330 | 0,9610067356 |
| 3 | 1,0029952727 | 0,9970136721 | 39 | 1,0417061906 | 0,9599635761 |
| 4 | 1,0040047816 | 0,9960111927 | 40 | 1,0428394914 | 0,9589203403 |
| 5 | 1,0050194808 | 0,9960055895 | 41 | 1,0439767925 | 0,9578756995 |
| 6 | 1,0060391718 | 0,9939970888 | 42 | 1,0451177608 | 0,9568299741 |
| 7 | 1,0070636652 | 0,9929658802 | 43 | 1,0462635180 | 0,9557821550 |
| 8 | 1,0080927798 | 0,9919721875 | 44 | 1,0474112005 | 0,9547348731 |
| 9 | 1,0091263440 | 0,9909561929 | 45 | 1,0485639493 | 0,9536852766 |
| 10 | 1,0101641939 | 0,9899380774 | 46 | 1,0497209153 | 0,9526341577 |
| 11 | 1,0112062738 | 0,9889179150 | 47 | 1,0508822579 | 0,9515813903 |
| 12 | 1,0122521423 | 0,9878961557 | 48 | 1,0520481455 | 0,9505268407 |
| 13 | 1,0133019573 | 0,9868726620 | 49 | 1,0532187551 | 0,9494703690 |
| 14 | 1,0143554923 | 0,9858476713 | 50 | 1,0543942725 | 0,9484118286 |
| 15 | 1,0154126271 | 0,9848213163 | 51 | 1,0555748860 | 0,9473510721 |
| 16 | 1,0164732511 | 0,9837937190 | 52 | 1,0567608179 | 0,9462879236 |
| 17 | 1,0175372619 | 0,9827649929 | 53 | 1,0579522591 | 0,9452222360 |
| 18 | 1,0186045658 | 0,9817352721 | 54 | 1,0591494390 | 0,9441538306 |
| 19 | 1,0196750781 | 0,9807045611 | 55 | 1,0603525864 | 0,9430825301 |
| 20 | 1,0207487227 | 0,9796730358 | 56 | 1,0615619392 | 0,9420085147 |
| 21 | 1,0218254323 | 0,9786407427 | 57 | 1,0627777438 | 0,9409305058 |
| 22 | 1,0229051482 | 0,9776077495 | 58 | 1,0640002565 | 0,9398493974 |
| 23 | 1,0239878204 | 0,9765741155 | 59 | 1,0652297411 | 0,9387646265 |
| 24 | 1,0250734077 | 0,9755398906 | 60 | 1,0664664768 | 0,9376759811 |
| 25 | 1,0261618778 | 0,9745051163 | 61 | 1,0677107282 | 0,9365832651 |
| 26 | 1,0272532070 | 0,9734698253 | 62 | 1,0689628007 | 0,9354862483 |
| 27 | 1,0283473810 | 0,9724340417 | 63 | 1,0702229907 | 0,9343847111 |
| 28 | 1,0294443919 | 0,9713977830 | 64 | 1,0714916050 | 0,9332784273 |
| 29 | 1,0305442410 | 0,9703610581 | 65 | 1,0727689603 | 0,9321671646 |
| 30 | 1,0316469441 | 0,9693238619 | 66 | 1,0740553818 | 0,9310506860 |
| 31 | 1,0327525177 | 0,9682861885 | 67 | 1,0753512039 | 0,9299287492 |
| 32 | 1,0338609913 | 0,9672480231 | 68 | 1,0766567691 | 0,9288011079 |
| 33 | 1,0349724019 | 0,9662093396 | 69 | 1,0779724302 | 0,9276767865 |
| 34 | 1,0360867960 | 0,9651701034 | 70 | 1,0792985444 | 0,9265277019 |
| 35 | 1,0372042283 | 0,9641302770 | | | |

b) Tabelle zur Zusammenstellung der beobachteten mit den berechneten Werthen.

| C. | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. | Unterschiede. |
|---|---|---|---|
| 5 | 1,0050194808 | 1,0050824960 | + 0,0000630152 |
| 10 | 1,0101641939 | 1,0101840492 | + 0,0000198553 |
| 15 | 1,0154126271 | 1,0153856500 | — 0,0000269771 |
| 20 | 1,0207487227 | 1,0206928300 | — 0,0000558927 |
| 25 | 1,0261618778 | 1,0260823872 | — 0,0000794906 |
| 30 | 1,0316469441 | 1,0315659911 | — 0,0000809530 |
| 35 | 1,0372042283 | 1,0371662152 | — 0,0000380131 |
| 40 | 1,0428394914 | 1,0430379485 | + 0,0001984571 |
| 45 | 1,0485639493 | 1,0485470775 | — 0,0000168718 |
| 50 | 1,0543942725 | 1,0541932878 | — 0,0002009847 |
| 55 | 1,0603525864 | 1,0605704432 | + 0,0002178568 |
| 60 | 1,0664664768 | 1,0667704028 | + 0,0003039260 |
| 65 | 1,0727689603 | 1,0731401401 | + 0,0003711798 |
| 70 | 1,0792985444 | 1,0786234327 | — 0,0006751117 |

Volumen des Schwefeläthers von 0,734 specifischem Gewicht bei 12°,5 C.

| C. | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. |
|---|---|---|
| — 21 | 0,9717062904 | 0,9696422011 |
| — 5 | 0,9925652784 | 0,9921213984 |
| — 0 | 0,0000000000 | 1,0000000000 |
| + 5 | 1,0075526655 | 1,0077034678 |
| 35 | 1,0548121589 | 1,0550428172 |
| 40 | 0,0642299627 | 1,0635234723 |

Volumen des Steinöls von 0,78125 specifischem Gewichte bei 12°,5 C.

| C. | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. |
|---|---|---|
| 0 | 1,0000000000 | 1,0000000000 |
| + 5 | 1,0049925820 | 1,0049867268 |
| 50 | 1,0526527665 | 1,0524866985 |
| 90 | 1,0994334677 | 1,0994586197 |
| 95 | 1,1059918552 | 1,1060059094 |

Volumen der Ammoniakflüssigkeit von 0,78125 specifischem Gewichte bei 12°,5 C.

| Temp. C. | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. |
|---|---|---|
| — 15 | 0,9960316994 | 0,99610728484 |
| 5 | 0,9986284001 | 0,99860241529 |
| 0 | 1,0000000000 | 1,0000000000 |
| + 5 | 1,0015003011 | 1,00147271958 |
| 40 | 1,0170099379 | 1,01696283540 |
| 45 | 1,0196703748 | 1,01983104130 |

Volumen der Salzsäure von 1,1978 specifischem Gewichte bei 12°,5 C.

| Temp. C. | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. |
|---|---|---|
| — 20 | 0,9879712412 | 0,9884144497 |
| — 5 | 0,9971431469 | 0,9970455511 |
| 0 | 1,0000000000 | 1,0000000000 |
| + 5 | 1,0028197879 | 1,0028623581 |
| 40 | 1,0224870011 | 1,0224502708 |
| 45 | 1,0252441612 | 1,0253597951 |

Volumen der Salpetersäure von 1,4405 specifischem Gewichte bei 12°,5 C.

| Temperatur C. (Luftthermometer). | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. |
|---|---|---|
| — 20 | 0,9776281364 | 0,9804017331 |
| 5 | 0,9946224692 | 0,9951419654 |
| 0 | 1,0000000000 | 1,0000000000 |
| + 5 | 1,0052949774 | 1,0053458473 |
| 50 | 1,0535635691 | 1,0535164607 |
| 100 | 1,1152790302 | 1,1148852683 |
| 110 | 1,1280821641 | 1,1286436741 |
| 115 | 1,1344366724 | 1,1354793178 |

## Volumen der Schwefelsäure von 1,886 specifischem Gewichte bei 12°,5 C.*)

a) Berechnet nach der Formel, welche aus Beobachtungen bloß von 0° bis 100° C. abgeleitet ist.

| Temp. C. (Luftth.) | Berechnet. | Beobachtet. | Differenzen. |
|---|---|---|---|
| — 30 | 0,9883575935 | 0,9818624389 | + 0,0064951546 |
| — 20 | 0,9910441620 | 0,9884862579 | + 0,0025579041 |
| — 10 | 0,9950614015 | 0,9941195953 | + 0,0009418062 |
| 0 | 1,0000000000 | 1,0000000000 | 0,0000000000 |
| 10 | 1,0055186238 | 1,0056740113 | + 0,0001553875 |
| 20 | 1,0113439181 | 1,0112810869 | — 0,0000628312 |
| 30 | 1,0172705066 | 1,0172633678 | — 0,0000071388 |
| 40 | 1,0228444462 | 1,0231947601 | + 0,0003503139 |
| 50 | 1,0289459546 | 1,0290212865 | + 0,0000753319 |
| 60 | 1,0346239549 | 1,0346529476 | + 0,0000289927 |
| 70 | 1,0402615310 | 1,0401975113 | — 0,0000640197 |
| 80 | 1,0459931998 | 1,0460087996 | + 0,0000155998 |
| 90 | 1,0520214570 | 1,0529976834 | + 0,0009762264 |
| 100 | 1,0586167770 | 1,0578494784 | — 0,0007672986 |
| 110 | 1,0661176127 | 1,0638236199 | — 0,0022939928 |
| 120 | 1,0749303957 | 1,0691885459 | — 0,0163409903 |
| 130 | 1,0855295362 | 1,0751056683 | — 0,0104238679 |
| 140 | 1,0984574232 | 1,0805539534 | — 0,0179034698 |
| 150 | 1,1143244241 | 1,0872713799 | — 0,0270530442 |
| 160 | 1,1338088353 | 1,0939739632 | — 0,0398349221 |
| 170 | 1,1576571314 | 1,1001882075 | — 0,0574689239 |
| 180 | 1,1866834662 | 1,1065592120 | — 0,0801242542 |
| 190 | 1,2217701716 | 1,1128822331 | — 0,1088879385 |
| 200 | 1,2638675084 | 1,1192886194 | — 0,1445788890 |
| 210 | 1,3145215808 | 1,1259128487 | — 0,1886087321 |
| 220 | 1,3732350130 | 1,1322464397 | — 0,2401885733 |
| 230 | 1,4427455956 | 1,1388576701 | — 0,2038879255 |

*) Für Temperaturen bis zu + 100° C. kann man entweder die Werthe der Tabelle a) oder b) anwenden, die hier nicht sehr von einander abweichen; doch verdient hier die Tabelle a) den Vorzug. Für Temperaturen, die + 100° C. übersteigen, sind aber bloß die berechneten Werthe der Tabelle b) zulässig. —

b) Berechnet nach der Formel, welche aus Beobachtungen von 0° bis 230° C. abgeleitet ist.

| Temp. C. (Luftth.) | Berechnet. | Beobachtet. | Differenzen. |
|---|---|---|---|
| — 30 | 0,98444724922911 | 0,98186245890461 | + 0,00258479032450 |
| — 25 | 0,98687121115800 | 0,98516516106350 | + 0,00170605009450 |
| — 20 | 0,98937250085093 | 0,98848625799263 | + 0,00088624285830 |
| — 15 | 0,99194328775689 | 0,99135488195335 | + 0,00058840580354 |
| — 10 | 0,99457611957519 | 0,99411959535155 | + 0,00045652422364 |
| — 5 | 0,99726392225597 | 0,99707687055519 | + 0,00018705170078 |
| 0 | 1,00000000000000 | 1,00000000000000 | 0,00000000000000 |
| 5 | 1,00277803525866 | 1,00281920220224 | + 0,00004116694358 |
| 10 | 1,00559208873402 | 1,00567401139927 | + 0,00008192266525 |
| 15 | 1,00843659937874 | 1,00842484705394 | — 0,00001175232480 |
| 20 | 1,01130638439625 | 1,01128108691689 | — 0,00002529747936 |
| 25 | 1,01419663924041 | 1,01408097860115 | — 0,00011566063926 |
| 30 | 1,01710293761593 | 1,01726336788872 | + 0,00016043027279 |
| 35 | 1,02002123147804 | 1,02007593627517 | + 0,00005470479713 |
| 40 | 1,02294785103271 | 1,02319476013769 | + 0,00024690910498 |
| 45 | 1,02587807388383 | 1,02611664306614 | + 0,00023856918231 |
| 50 | 1,02881327929654 | 1,02902128656728 | + 0,00020200727074 |
| 55 | 1,03174663967077 | 1,03181878170543 | + 0,00007214203466 |
| 60 | 1,03468742906767 | 1,03465294769064 | + 0,00003448137703 |
| 65 | 1,03760386393746 | 1,03743377300385 | + 0,00017009598361 |
| 70 | 1,04052455901674 | 1,04019751133161 | — 0,00032704768513 |
| 75 | 1,04343847723913 | 1,04312375501648 | — 0,00031472222265 |
| 80 | 1,14634497982467 | 1,04600879960895 | — 0,00033618021572 |
| 85 | 1,04924380123508 | 1,04902662166471 | — 0,00021717957037 |
| 90 | 1,05213505318274 | 1,05299768337307 | + 0,00086263019033 |
| 95 | 1,0550192296[illegible]068 | 1,05493246865419 | — 0,00008676097649 |
| 100 | 1,05789719679255 | 1,05784947846067 | — 0,00004771833188 |
| 105 | 1,06077020313268 | 1,06088253507339 | + 0,00011233194071 |
| 110 | 1,06363987436603 | 1,06382361996630 | + 0,00018374560027 |
| 115 | 1,06650821445821 | 1,06665414636210 | + 0,00014593190389 |
| 120 | 1,06937760562540 | 1,06918854593936 | — 0,00018905968604 |
| 125 | 1,07225080833470 | 1,07215479838645 | — 0,00009600994825 |
| 130 | 1,07513096130345 | 1,07510566[illegible]35646 | — 0,00002529294699 |
| 135 | 1,07802158149990 | 1,07825436366821 | + 0,00023278216831 |
| 140 | 1,08092592448478 | 1,08055395244582 | — 0,00037197103896 |
| 150 | 1,08679708889708 | 1,08727137999901 | + 0,00047429110193 |
| 160 | 1,09278126432957 | 1,09397396324018 | + 0,00119269891061 |
| 170 | 1,09892386321429 | 1,10018820758792 | + 0,00126434437363 |
| 180 | 1,10527572238548 | 1,10655921202427 | + 0,00128348963879 |
| 190 | 1,11189372248775 | 1,11288223307444 | + 0,00098851058669 |
| 200 | 1,11884079847606 | 1,11928861939872 | + 0,00044782092260 |
| 210 | 1,12618593711553 | 1,12591284871763 | — 0,00027308839790 |
| 220 | 1,13400417723102 | 1,13224643971251 | — 0,00175773751851 |
| 230 | 1,14237660966081 | 1,13885767006582 | — 0,00351893959499 |

Volumen feinen officinellen Mandelöls von nicht bestimm tem specifischen Gewichte.

| Temperatur C. (Lufttherm.) | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. |
|---|---|---|
| 0 | 1,0000000000 | 1,0000000000 |
| + 5 | 1,0038309074 | 1,0038368150 |
| 50 | 1,0382548874 | 1,0383062879 |
| 100 | 1,0787425209 | 1,0787004689 |
| 115 | 1,0911579019 | 1,0911803269 |
| 120 | 1,0953001676 | 1,0952835887 |

Über das Ausdehnungsgesetz der tropfbaren Flüssigkeiten

Seit Thomas Young hat man angenommen, das Ausdehnungsg setz der tropfbaren Flüssigkeiten könne durch eine Formel von folgend Form dargestellt werden,

$$v' = 1 + at + bt^2 + ct^3 + dt^4 + \ldots\ldots pt^n$$

worin v′ das Volumen der Flüssigkeit bei der Temperatur t ist, das V lumen bei t = 0 als Einheit genommen, und worin a, b, c... durch Ve suche für jede Flüssigkeit besonders zu bestimmende Coefficienten sind. M hat aber keinen Beweis für die, bei dieser Form Statt findende, Vorau setzung gegeben, daß die Potenzen der Temperaturen wirklich nach d Reihe der ganzen natürlichen Zahlen steigen müssen, und ganz unbestimm gelassen, wie viele Glieder von jener allgemeinen Formel für jede Flüssigke beizubehalten sind, so daß man jene Voraussetzung und die Beibehaltun einer gewissen bestimmten Anzahl Glieder nur durch die Übereinstimmun der Versuche mit den Resultaten der Berechnung nach jener Formel rech fertigen kann.

Die im Vorigen mitgetheilten Versuche Muncke's eignen sich nun w gen der großen Ausdehnung in der, und der großen Genauigkeit, mit d sie angestellt worden sind, ganz vorzüglich, Aufschlüsse über diesen Gege stand zu geben, und es geht aus Vergleichung der Beobachtungen mit d nach jener Formel berechneten Resultaten Folgendes hervor:

1) Ob die Exponenten der Temperaturen nach ganzen Zahlen wachse müssen, oder ob zwischen diesen liegende gebrochene Exponenten, und w viele derselben aufgenommen werden müßten, läßt sich zur Zeit noch nich entscheiden. Untersuchungen hierüber würden sehr verwickelte Rechnunge nöthig machen, welche zur Zeit noch nicht angestellt worden sind.

2) An sich enthält die Formel eine ins Unbestimmte fortgehende A zahl Glieder mit steigenden Potenzen der Temperaturen; allein die Coeff cienten der Potenzen nehmen mit dem Hinaufrücken der Potenzen imme mehr an Größe ab, und die höheren Glieder verlieren daher bei nicht z

hohen Temperaturen ihren Einfluß, so daß man sie hier aus der Acht lassen kann.

3) Sollen einmal in der Formel bloß ganze Exponenten der Temperaturen aufgenommen werden, so geht so viel aus Vergleichung der Versuche Muncke's mit den Resultaten der, unter jener Voraussetzung darauf gegründeten, Formeln hervor, daß durch Beibehaltung der Glieder bis zur vierten Potenz von t das Ausdehnungsgesetz für sämmtliche von ihm untersuchte Flüssigkeiten, also wahrscheinlich für alle Flüssigkeiten überhaupt, genau ausgedrückt werden kann, wofern man sich dabei innerhalb der Temperaturen — 100° C. und + 100° C. hält und auch die Coefficienten der Potenzen bloß aus Versuchen zwischen diesen Gränzen berechnet. In der That ist die Übereinstimmung der hienach geführten Rechnungen mit den Beobachtungen im Allgemeinen so groß, daß sie nicht besser verlangt werden kann.

4) Dagegen kann man nicht mit Sicherheit darauf rechnen, daß Beibehaltung der Glieder bloß bis zur vierten Potenz von t und Bestimmung der 4 Coefficienten aus Beobachtungen zwischen — 100° C. und + 100° C. den Beobachtungen auch außerhalb dieser Gränzen Genüge leisten werde, und umgekehrt kann man eben so wenig mit Sicherheit eine richtige Bestimmung der Coefficienten der 4 ersten Potenzen von t erwarten, wenn man zu ihrer Bestimmung Beobachtungen, die außerhalb jener Gränzen angestellt worden sind, zuzieht.

In der That ist schon a priori leicht einzusehen, daß, wenn die positiven oder negativen Temperaturen sehr große Werthe erhalten, dann ihre Potenzen $t^5$, $t^6$ ꝛc., selbst wenn sie mit sehr kleinen constanten Coefficienten multiplicirt sind, doch einen Einfluß auf das Resultat gewinnen können. Dieser Einfluß nun wird durch die Formel mit bloß 4 Potenzen von t, die aus mittleren Temperaturen abgeleitet worden ist, nicht wiedergegeben werden können, und umgekehrt wird, wenn man die Coefficienten für die 4 ersten Potenzen von t, mit Zuziehung von Beobachtungen in Temperaturen, die über 100° C. hinausliegen, ableitet, der Einfluß, den die höheren weggelassenen Glieder hiebei äußern, sich auf die Coefficienten der 4 ersten Glieder mit vertheilen und sie dadurch ungenau machen müssen.

Diese Umstände erhalten eine sehr gute Bestätigung durch die Berechnungen, welchen Muncke seine Versuche über die Ausdehnung der Schwefelsäure unterworfen hat. Er bestimmte einmal die Coefficienten der, bis zu 4 Potenzen von t genommenen, Formel bloß aus Beobachtungen zwischen 0° und 100° C., ein anderes Mal aus Beobachtungen von 0° bis 230° C., wo sich denn zeigte, daß die auf erste Weise bestimmte Formel den Beobachtungen bis zu + 100° C. sehr wohl Genüge leistete, aber nicht den in einiger Entfernung über 100° C. liegenden Beobachtungen, während umgekehrt die auf letztere Weise bestimmte Formel zwar die ganze Reihe von Beobachtungen, aus denen sie abgeleitet war, mit hinreichender Genauigkeit repräsentirte, aber eine so tiefe Temperatur für das Dichtig-

Volumen feinen officinellen Mandelöls von nicht bestimmtem specifischen Gewichte.

| Temperatur C. (Luftthermom.) | Nach Rechnung. | Nach Beobachtung. |
|---|---|---|
| 0 | 1,0000000000 | 1,0000000000 |
| + 5 | 1,0038309074 | 1,0038368150 |
| 50 | 1,0382548874 | 1,0383062879 |
| 100 | 1,0787425209 | 1,0787004689 |
| 115 | 1,0911579019 | 1,0911808269 |
| 120 | 1,0953001676 | 1,0952835887 |

## Über das Ausdehnungsgesetz der tropfbaren Flüssigkeiten.

Seit Thomas Young hat man angenommen, daß Ausdehnungsgesetz der tropfbaren Flüssigkeiten könne durch eine Formel von folgender Form dargestellt werden,

$$v' = 1 + at + bt^2 + ct^3 + dt^4 + \ldots pt^n$$

worin $v'$ das Volumen der Flüssigkeit bei der Temperatur $t$ ist, das Volumen bei $t = 0$ als Einheit genommen, und worin a, b, c.. durch Versuche für jede Flüssigkeit besonders zu bestimmende Coefficienten sind. Man hat aber keinen Beweis für die, bei dieser Form Statt findende, Voraussetzung gegeben, daß die Potenzen der Temperaturen wirklich nach der Reihe der ganzen natürlichen Zahlen steigen müssen, und ganz unbestimmt gelassen, wie viele Glieder von jener allgemeinen Formel für jede Flüssigkeit beizubehalten sind, so daß man jene Voraussetzung und die Beibehaltung einer gewissen bestimmten Anzahl Glieder nur durch die Übereinstimmung der Versuche mit den Resultaten der Berechnung nach jener Formel rechtfertigen kann.

Die im Vorigen mitgetheilten Versuche Muncke's eignen sich nun wegen der großen Ausdehnung in der, und der großen Genauigkeit, mit der sie angestellt worden sind, ganz vorzüglich, Aufschlüsse über diesen Gegenstand zu geben, und es geht aus Vergleichung der Beobachtungen mit den nach jener Formel berechneten Resultaten Folgendes hervor:

1) Ob die Exponenten der Temperaturen nach ganzen Zahlen wachsen müssen, oder ob zwischen diesen liegende gebrochene Exponenten, und wie viele derselben aufgenommen werden müßten, läßt sich zur Zeit noch nicht entscheiden. Untersuchungen hierüber würden sehr verwickelte Rechnungen nöthig machen, welche zur Zeit noch nicht angestellt worden sind.

2) An sich enthält die Formel eine ins Unbestimmte fortgehende Anzahl Glieder mit steigenden Potenzen der Temperaturen; allein die Coefficienten der Potenzen nehmen mit dem Hinaufrücken der Potenzen immer mehr an Größe ab, und die höheren Glieder verlieren daher bei nicht zu

hohen Temperaturen ihren Einfluß, so daß man sie hier aus der Acht lassen kann.

3) Sollen einmal in der Formel bloß ganze Exponenten der Temperaturen aufgenommen werden, so geht so viel aus Vergleichung der Versuche Muncke's mit den Resultaten der, unter jener Voraussetzung darauf gegründeten, Formeln hervor, daß durch Beibehaltung der Glieder bis zur vierten Potenz von t das Ausdehnungsgesetz für sämmtliche von ihm untersuchte Flüssigkeiten, also wahrscheinlich für alle Flüssigkeiten überhaupt, genau ausgedrückt werden kann, wofern man sich dabei innerhalb der Temperaturen — 100° C. und + 100° C. hält und auch die Coefficienten der Potenzen bloß aus Versuchen zwischen diesen Gränzen berechnet. In der That ist die Übereinstimmung der hienach geführten Rechnungen mit den Beobachtungen im Allgemeinen so groß, daß sie nicht besser verlangt werden kann.

4) Dagegen kann man nicht mit Sicherheit darauf rechnen, daß Beibehaltung der Glieder bloß bis zur vierten Potenz von t und Bestimmung der 4 Coefficienten aus Beobachtungen zwischen — 100° C. und + 100° C. den Beobachtungen auch außerhalb dieser Gränzen Genüge leisten werde, und umgekehrt kann man eben so wenig mit Sicherheit eine richtige Bestimmung der Coefficienten der 4 ersten Potenzen von t erwarten, wenn man zu ihrer Bestimmung Beobachtungen, die außerhalb jener Gränzen angestellt worden sind, zuzieht.

In der That ist schon a priori leicht einzusehen, daß, wenn die positiven oder negativen Temperaturen sehr große Werthe erhalten, dann ihre Potenzen $t^5$, $t^6$ rc., selbst wenn sie mit sehr kleinen constanten Coefficienten multiplicirt sind, doch einen Einfluß auf das Resultat gewinnen können. Dieser Einfluß nun wird durch die Formel mit bloß 4 Potenzen von t, die aus mittleren Temperaturen abgeleitet worden ist, nicht wiedergegeben werden können, und umgekehrt wird, wenn man die Coefficienten für die 4 ersten Potenzen von t, mit Zuziehung von Beobachtungen in Temperaturen, die über 100° C. hinausliegen, ableitet, der Einfluß, den die höheren weggelassenen Glieder hiebei äußern, sich auf die Coefficienten der 4 ersten Glieder mit vertheilen und sie dadurch ungenau machen müssen.

Diese Umstände erhalten eine sehr gute Bestätigung durch die Berechnungen, welchen Muncke seine Versuche über die Ausdehnung der Schwefelsäure unterworfen hat. Er bestimmte einmal die Coefficienten der, bis zu 4 Potenzen von t genommenen, Formel bloß aus Beobachtungen zwischen 0° und 100° C., ein anderes Mal aus Beobachtungen von 0° bis 230° C., wo sich denn zeigte, daß die auf erste Weise bestimmte Formel den Beobachtungen bis zu + 100° C. sehr wohl Genüge leistete, aber nicht den in einiger Entfernung über 100° C. liegenden Beobachtungen, während umgekehrt die auf letztere Weise bestimmte Formel zwar die ganze Reihe von Beobachtungen, aus denen sie abgeleitet war, mit hinreichender Genauigkeit repräsentirte, aber eine so tiefe Temperatur für das Dichtig-

keitsmaximum finden ließ, als nach den vorhandenen Beobachtungen nicht für zulässig angesehen werden kann, dagegen diese Temperatur sich aus der auf die erste Weise bestimmten Formel so ergab, wie sie nach den vorhandenen Erfahrungen wirklich sehr wahrscheinlich ist. Alle diese Umstände nun lassen sich sehr wohl durch die Annahme repräsentiren, daß in der auf die erste Art bestimmten Formel zwar die Coefficienten richtig bestimmt sind, aber keine für höhere Temperaturen hinreichende Anzahl Glieder beibehalten, daß aber in der auf die zweite Art bestimmten Formel die Coefficienten der ersten Glieder nicht genau sind, weil zu ihrer Bestimmung Beobachtungen zugezogen wurden, in welchen höhere Glieder, als die beibehaltenen, Einfluß gewinnen.

Sind die Coefficienten der höheren Potenzen sehr klein, so kann allerdings auch für höhere Temperaturen noch die Beibehaltung von 4 Potenzen genügend sein, so z. B. beim Mandelöle, wo der Coefficient der vierten Potenz von t fast zwanzig Mal kleiner ist, als bei der Schwefelsäure.

5) Bei weniger als 4 Potenzen von t stehen zu bleiben, wenn man innerhalb des Intervalles von — 100° C. und + 100° C. richtige Resultate durch die Formel erhalten will, kann nicht für zulässig gelten.

---

## III. Thermometer und Pyrometer.

---

### Über Bestimmung der fixen Punkte des Thermometers.

Parrot*) hat über diesen Gegenstand 108 Versuche angestellt, wovon folgendes die (zum Theil nicht sehr wahrscheinlichen) Resultate sind. Der Nullpunct des Réaumür'schen Thermometers, mittelst Eises aus dem Newaflusse bestimmt, ist um $\frac{1}{10}$ Grad tiefer, als wenn man Eis von destillirtem Wasser anwendet. Die Temperatur des Dampfes von kochendem Wasser in fast geschlossenen Gefäßen ist veränderlich je nach der Größe der Öffnung, welche zum Austritt des Dampfes dient; so wie auch nach der Höhe, in welcher sich die Thermometerkugeln über der Oberfläche des siedenden Wassers befinden. Die Hitze des Wasserdampfes ist immer geringer als die des kochenden Wassers, durch welches der Dampf erzeugt wird, und diese Verschiedenheit geht wenigstens bis zu 0,6° R. Die Hitze des kochenden Wassers und des dadurch erzeugten Dampfes ist nicht immer dieselbe bei demselben Luftdrucke, wenn auch das Wasser in vollständigem

*) Die folgende Notiz ist entlehnt aus dem Bull. univ. 1830. p. 110, wo sie aus einer Abhandlung Parrot's: Mém. sur les points fixes du thermomètre; in 4° de 69 pages et 2 plat. Pétersbourg 1828, die mir nicht zu Gesicht gekommen ist, ausgezogen ist.

Sieden zu sein scheint. Es giebt für jeden Luftdruck ein Maximum der Wärme, welches man nicht erreicht, wenn man zu wenig Hitze anwendet, aber nicht zu überschreiten vermag, wenn man Hitze über Erfoderniß anwendet. Dieser Punct findet sich von 17 bis wenigstens 54 Linien unter der Oberfläche des kochenden Wassers.

### Reductionsformel für das Quecksilberthermometer bei hohen Wärmegraden, von August *).

Ein Hauptvorzug des Quecksilber-Thermometers von den meisten übrigen besteht bekanntlich darin, daß die Anzeigen desselben innerhalb der Temperaturen von — 25° bis + 100° C. der wirklichen Wärmezunahme so genau proportional sind, daß bis jetzt die sorgfältigsten Versuche darüber auf keine Verschiedenheit geführt haben. Je mehr sich aber das Quecksilber auf der einen Seite dem Gefrieren, auf der andern Seite dem Sieden nähert, desto mehr weichen die Anzeigen desselben von denen eines Luftthermometers ab, dem man mit Recht die vollkommenste Übereinstimmung mit der Wärmeänderung zuschreibt. Es war daher wünschenswerth, ein einfaches Mittel zu finden, die Anzeigen des Quecksilberthermometers, wenn sie außer den Gränzen jener Correspondenz mit dem Luftthermometer liegen, auf die Übereinstimmung mit diesem zu reduciren. August hat eine solche einfache Reductionsmethode aus Betrachtung der Resultate, welche Dulong und Petit über diesen Gegenstand erhalten haben (Gehler's Wört. I. 599) abgeleitet; sie ist in folgender Regel **) enthalten, worin wir mit $\tau$ die Anzahl Temperaturgrade bezeichnen wollen, welche über 100° C. hinausliegen (d. i. den positiven Unterschied der beobachteten Temperatur von 100° C.).

Um die über 100° C. fallenden Anzeigen des Centesimalquecksilberthermometers auf die wahre Temperatur zu reduciren, so multiplicire die Summe $0{,}09 + 0{,}00028\,\tau$ mit $\frac{1}{4}\tau$ und ziehe dies Product von den beobachteten Temperaturgraden ab ***).

Diese Regel kann wenigstens bis 300° C. als zuverlässig gelten, und es scheint ihre Gültigkeit bis nahe an den Siedepunct des Quecksilbers zu reichen.

Folgendes ist die Tabelle der von Dulong und Petit gemachten Beobachtungen über Vergleichung des Luft- und Quecksilber-Thermometers,

*) Pogg. XIII. 119.

**) Dieselbe Regel hat auch Muncke hergeleitet in seiner Abhandlung über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten S. 112.

***) Nennen wir die wahre Temperatur $\omega$, die am Centesimalquecksilberthermometer $q$, und setzen $\tau = q - 100^0$, so ist

$$\omega = q - \tfrac{1}{4}\tau\,(0{,}09 + 0{,}00028\,\tau).$$

Für Réaumur'sche Grade $\omega'$, $q'$; wo $\tau' = q' - 80^0$ wird, geht die Formel in folgende über:

$$\omega' = q' - \tfrac{1}{4}\tau'\,(0{,}09 + 0{,}00035\,\tau).$$

aus denen diese Regel abgeleitet worden ist und die man umgekehrt als Bewährung derselben ansehen kann. Die Correction wegen Ausdehnung des Glases ist dabei schon berücksichtigt.

| A. Quecksilberthermometer. | B. Luftthermometer. | Unterschied beider A—B. | Differenz der Unterschiede. | Zweite Differenz derselben. |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 100 | 0 | | |
| 150 | 148,70 | 1,30 | 1,30 | |
| 200 | 197,05 | 2,95 | 1,65 | 0,35 |
| 250 | 245,05 | 4,95 | 2,00 | 0,35 |
| 300 | 292,70 | 7,30 | 2,35 | 0,35. |
| 360 | 350,00 | 10,00 | | |

Nimmt man die ersten fünf Beobachtungen und die damit bereits vorgenommenen Reductionen in Beziehung auf die Ausdehnung des Glases als vollkommen richtig an, so ist die Herleitung der Formel für das Gesetz, dem die Unterschiede beider, welche die dritte Spalte der Tabelle angiebt, zu folgen scheinen, nicht schwer zu entdecken. Man bemerke nur, daß die in der fünften Spalte aufgeführten zweiten Differenzen dieser Unterschiede vollkommen gleich sind; daß also die Zahlen der dritten Spalte, d. h. diese Unterschiede selbst, eine arithmetische Reihe zweiter Ordnung bilden. Nimmt man nun dasselbe Gesetz auch für die dazwischenliegenden Temperaturen an, so findet man durch Einschaltung von je 49 Gliedern einer arithmetischen Reihe zweiter Ordnung zwischen zwei Zahlen dieser Spalte diejenigen Unterschiede, welche sich auf die einzelnen Grade beziehen. Die Interpolirung selbst führt auf folgende Formel:

$$\delta = \tfrac{1}{4}\,(0{,}09\,\tau + 0{,}00028\,\tau^2),$$

wenn $\tau$ die Anzahl über 100° nach dem Centesimalquecksilberthermometer, und $\delta$ den Unterschied der Quecksilbergrade von den wirklichen Wärmegraden anzeigt.

Hieraus ergiebt sich dann die obige Regel.

Aus dem Gesetze, daß die in der letzten Spalte angeführten zweiten Differenzen der Unterschiede von A und B vollkommen gleich sind, mithin diese Unterschiede selbst eine arithmetische Reihe zweiter Ordnung bilden, tritt, wie die Tabelle lehrt, bloß die unterste Beobachtung (360 u. 350 respectiv unter A und B heraus. Indeß vermuthet Muncke, durch einen Schreibfehler sei hier statt 350 und 340 in der Abhandlung der französischen Physiker 360 und 350 gesetzt worden, und selbst, wenn man diese Annahme nicht macht, würde die Berechnung nach der obigen Formel für 360° (unter A) statt 350 349,418 (unter B) finden lassen, so daß die Differenz nicht groß ist, und bei Beob-

achtung in so hoher Temperatur um den Siedepunct des Quecksilbers leicht einem Irrthum des Versuches beigemessen werden kann.

### Vergleichung einer frühern Thermometerscale mit den jetzigen.

Eine neulich in Florenz wiederaufgefundene Kiste, in welcher sich neben anderen alten Instrumenten eine große Menge in 50° getheilter Thermometer der Academia del Cimento befanden, haben das Mittel gegeben, die Grade ihrer Scale mit denen der jetzigen Thermometer zu vergleichen, was nicht ohne Wichtigkeit ist, da hiedurch viele thermometrische Beobachtungen, welche von jener Academie angestellt wurden, auch jetzt noch brauchbar werden. Libri *) fand durch diese Vergleichung, daß der Nullpunct jener alten Thermometer — 15° R. und 50° der alten Thermometer + 44° R. entspricht.

In schmelzendem Eise zeigte das alte Thermometer 13°½ weniger einer zu vernachlässigenden Quantität; und da die Academiker ebenfalls angegeben haben, daß ihr Thermometer in zerstoßenem Eise auf 13°½ sinke, so folgt hieraus, daß der Nullpunct jener alten Thermometer nicht gestiegen ist, wie dies im Allgemeinen bei den neueren Thermometern der Fall.

Schon im zweiten Bande der Ann. du Mus. de Florence findet sich eine Tafel zur Vergleichung der thermometrischen Beobachtungen der Academia del Cimento mit den neuen; allein fälschlich ist darin angenommen, daß der Nullpunct ihres Thermometers — 9° R. entspreche, während er doch — 15° R. entspricht.

### Über richtige Construction von Weingeistthermometern.

Aus den S. 430 mitgetheilten Resultaten Muncke's **) über die Ausdehnung des absoluten Alkohols ***) durch die Wärme ergeben sich für die Construction von Weingeistthermometern folgende Bestimmungen.

Wenn das Volumen des Alkohols bei 0° C. = 1 gesetzt wird, so ist es mit Weglassung der höheren Decimalstellen bei 1° = 1,00099, welches von 1,001 um eine unmeßbare Größe abweicht; bei 2° ist dasselbe = 1,00199 und es wächst also hier genau um 0,001 und eben so bei 3°, indem es hier = 1,00299 ist. Setzt man also ohne Rücksicht auf die verschwindenden Differenzen der höheren Decimalstellen 0,00099 = 0,001; 0,00199 = 0,002 und 0,00299 = 0,003, so wächst das Volumen für 1° C. um 0,001 der Einheit, und dieses geht in Beziehung auf nicht mehr als drei Decimalstellen regelmäßig fort bis 24°, wo das Volumen um 0,025 vermehrt ist. Wird dieser Unterschied bei einem empirisch graduirten Ther-

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLV. 354 oder Pogg. XXI. 325.

**) Abhandlung über die Ausdehnbarkeit der tropfbaren Flüssigkeiten S. 81.

***) Bloß solcher ist zu Weingeistthermometern tauglich, da wässeriger Weingeist eine ganz unregelmäßige Ausdehnung hat.

Für Grade unter 0° C.

— 1° — 2° — 3° — 4° — 5° — 6°....

n (1—0,01; 2—0,03; 3—0,05; 4—0,09; 5—0,13; 6—0,18.)....

und auf gleiche Weise nach der Anleitung der berechneten Tabelle, welche auch namentlich für verneinte Grade leicht noch weiter fortgesetzt werden könnte, wenn man es für diesen Zweck nöthig fände. Es versteht sich von selbst, daß man hiebei allezeit vom Anfangspuncte an rechnen muß, so daß also für 10 Grade über 0 im Ganzen 10,16 n, und für 6 Grade unter 0 überhaupt n (6—0,18) Umdrehungen gemacht sind. Die Ausdehnung und Zusammenziehung des Glases macht hiebei keine Schwierigkeiten; denn da dieselbe entweder überhaupt oder mindestens innerhalb der hiebei erfoderlichen Gränzen merklich gleichmäßig ist, so wird hienach die Säule des Weingeistes im Rohre des Thermometers bis zu den gemessenen 10 Graden um eben so viel kürzer, als die nächstfolgende von 10° bis zu 20° C. und so fort, so daß also diese Correction schon in der ursprünglichen Messung enthalten ist. Noch vollständiger aber läßt sich diese Correction dadurch erhalten, wenn der Künstler die festen Puncte bei 0° und 50° C. bestimmt, und die oben angegebene Methode der Scalentheilung befolgt.

### Breguet'sches Thermometer zur Beobachtung des Maximums und Minimums, von Lechevallier *).

Um das Breguet'sche Thermometer zur Beobachtung des Maximums und Minimums einzurichten, höhle man in der Mitte des graduirten Kreises, auf welchem sich die Spitze der Nadel bewegt, eine mit diesem Kreise concentrische Furche aus und bringe darin oder darauf (y) zwei sehr leichte Laufer, einen zu jeder Seite der Nadel, an, die dem geringsten Anstoß zu weichen vermögen. Begreiflich werden dieselben bis zum Maximum oder Minimum durch die fortschreitende Nadel fortgeschoben werden und daselbst liegen bleiben. Die Schraubenwindung des Thermometers muß stark genug sein, daß die Bewegung der Nadel durch den kleinen Widerstand, den die Laufer darbieten, kein Hinderniß erfahre.

### Maximumthermometer (Registerthermometer), von J. King **).

King macht den gewöhnlichen sogenannten Maximumthermometern, bei denen die Quecksilbersäule beim Steigen ein Stahlstängelchen vor sich herschiebt, und es beim Zusammenziehen am höchsten Puncte liegen läßt, den Vorwurf, daß sie sich nicht wohl transportiren lassen, und auch zur See wegen der beständigen Bewegung des Schiffes von keiner Anwendung sind, indem bei jedem Stoße sich das Stahlstängelchen ins Quecksilber taucht. Er schlägt nun zwei verschiedene Vorrichtungen vor, die besser zum Zwecke führen sollen. Die erste ist in Figur 93. abgebildet und stellt

*) Bull. univ. des sc. math. et phys.

**) Edinb. J. N. XVIII. p. 112 oder Baumg. V. 104.

in Doppelthermometer vor, welches aus einer einzigen Röhre verfertiget zu sein scheint. Das eine dieser zwei Thermometer A ist wie ein gewöhnliches Quecksilberthermometer eingerichtet und auch mit einer Scale versehen, wie sie diese Instrumente zu haben pflegen; das zweite hingegen hat eine von jenem verschiedene Einrichtung. Es reicht nämlich die Röhre B in das Quecksilbergefäß H hinein, wie dieses in Figur 94. zu sehen ist, und läuft in demselben in eine Spitze aus. Diese Röhre enthält nicht wie die erstere Quecksilber, sondern gefärbten Weingeist, der durch eine in E befindliche Luftsäule vom Quecksilber getrennt ist. Das Gefäß H, welches mit G möglichst gleichen Inhalt haben muß, ist bis D mit Quecksilber gefüllt, enthält aber ober diesem Luft.

Beim Gebrauche wird dieses Instrument wie ein gewöhnliches Thermometer aufgehängt und so adjustirt, daß die Röhre B bloß Weingeist enthält. Steigt nun die Temperatur, so dehnt sich das Quecksilber im ersten Thermometer aus, wirkt auf die Luft in E, und durch diese auf die Weingeistsäule in B. Dadurch tritt ein Theil desselben in das Gefäß H, und steigt wegen seines geringern specifischen Gewichtes über das Quecksilber daselbst. Sinkt nun die Temperatur wieder, so gelangt statt des vertriebenen Weingeistes eine proportionirte Quecksilbersäule in die Röhre C, aus deren Länge man abnehmen kann, wie groß die höchste Temperatur war, welcher das Instrument ausgesetzt war.

Um dieses Thermometer wieder zu fernerem Gebrauche einzurichten, berührt man das Gefäß G mit einer warmen Hand, und vertreibt dadurch die Quecksilbersäule aus der Röhre B. Ist dieses erfolgt, so bringt man, ohne die erwärmende Hand zu entfernen, das Instrument in eine geneigte Lage, daß die Spitze C das Quecksilber verläßt und nunmehr in Weingeist getaucht ist, zieht dann die Hand zurück, läßt das Thermometer die vorige Temperatur annehmen, damit der Weingeist wieder in die Röhre B gezogen werde. Sobald dieses geschehen ist, hängt man das Instrument wieder an seinen Platz, denn nun ist es zu einer fernern Beobachtung des Maximums der Temperatur geeignet.

Man kann den Weingeist auch ganz weglassen und dafür die Röhre B bloß mit Luft füllen, doch dürfte nach King's Meinung dadurch die Richtigkeit des Instrumentes leiden, wenn nicht etwa durch Horizontallegen diesem Übel abgeholfen wird. Auf den ersten Blick scheint dieses Instrument schwer zu verfertigen zu sein; man kann sich aber die Arbeit bedeutend erleichtern, wenn man jedes der zwei Thermometer für sich verfertiget und sie hierauf in E mit einander verbindet.

King giebt noch eine andere Einrichtung eines Registerthermometers an, welches mit dem von Blackadder bekannt gemachten (Baumg. und Ett. Zeitschr. II. 78 oder Pogg. VII. 244) im Wesentlichen übereinstimmt. Indeß versichert Baumgartner, durch viele, mit einem solchen Instrumente angestellte, Versuche sich überzeugt zu haben, daß es kein genaues Resultat giebt, weil nicht alles Quecksilber, welches durch die Wärme aus

der offenen Thermometerröhre vertrieben wird, und in die daran gesteckte Kugel fallen soll, wirklich dahin fällt, sondern an der äußersten Glasspitze der Röhre einen bald größern, bald kleinern Tropfen bildet, der sich beim Sinken der Temperatur wieder in die Röhre zurückzieht. Daher fällt das Maximum der Temperatur, welches dieses Instrument anzeigt, stets geringer aus, als es wirklich ist.

Maximumthermometer (Geothermometer), von Magnus *).

Das nachfolgende sinnreiche Instrument wurde vom Verfasser construirt, um damit die Temperatur in großen Tiefen der Erde zu bestimmen, und hat sich bei damit angestellten Versuchen sehr brauchbar erwiesen. Der Verfasser giebt ihm deshalb den Namen Geothermometer oder Erdthermometer.

Dies Instrument (Figur 89.) besteht aus einem gewöhnlichen Thermometer TA, das oben bei T offen und so getheilt ist, daß sowohl der Nullpunct desselben, als auch der Punct T und jeder zwischenliegende Punct den gleichnamigen Puncten irgend einer der bekannten Thermometerscalen entsprechen, so daß, wenn man dies Instrument in dieselbe Temperatur mit einem nach derselben Scale getheilten Thermometer bringt, beide dieselbe Anzahl von Graden zeigen. Erwärmt man nun das Instrument bis zu einer Temperatur, die höher ist als T, so wird ein Theil des in ihm enthaltenen Quecksilbers ausfließen, und bringt man es danach wieder in eine und dieselbe Temperatur mit dem nach derselben Scale getheilten Thermometer (das wir Normalthermometer nennen wollen), so wird es nicht mehr dieselbe, sondern eine niedrigere Anzahl von Graden zeigen als jenes. Aus der Differenz des Standes, den es wirklich hat, und dem, den es haben sollte und der durch das Normalthermometer angezeigt wird, läßt sich leicht die Temperatur finden, bis zu der es erwärmt gewesen. Denn bei diesem Maximum der Temperatur, das wir der Kürze wegen mit x bezeichnen, war das Instrument ganz, d. i. bis T, mit Quecksilber gefüllt; es war daher so viel Quecksilber herausgetreten, daß es nur T° zeigte, während das Normalthermometer x° gezeigt haben würde. Es kommt also eigentlich nur darauf an, diese Differenz, x — T zu finden. Diese wird man aber leicht beobachten können, wenn man das Instrument mit dem Normalthermometer in eine Temperatur bringt, die geringer ist als x; denn das Instrument wird dann um so viel unter dem Normalthermometer stehen, als es bei der Temperatur x unter demselben gestanden hatte, nämlich um T — x, nur daß dieses T — x die gehörigen Correctionen erleiden muß, da es hier nicht bei der Temperatur x, sondern bei einer niedrigern gemessen wird.

Diese Betrachtung macht es auch zugleich anschaulich, daß zur Bestimmung des Maximums der Temperatur keinesweges gerade das ursprüng-

*) Pogg. XXII. 136.

liche Quecksilbervolumen, nach welchem das Instrument getheilt worden und das es bei der Temperatur 0° gerade bis Null erfüllt, in demselben vor dem Versuche enthalten zu sein brauche; sondern, daß dieses Quecksilbervolumen größer oder kleiner sein dürfe, wenn es nur hinreichend ist, das Instrument bei der Temperatur x° gänzlich, d. h. bis T, zu füllen. Dieser Umstand aber, daß die Bestimmung des Maximums unabhängig ist von der Quecksilbermenge, die vor dem Versuche in dem Instrumente enthalten gewesen, macht dasselbe eigentlich erst recht anwendbar. Denn man braucht nur dafür zu sorgen, daß es nicht zu wenig Quecksilber enthalte, ohne daß es auf die Quantität ankommt, die man zu dem Ende einführt; und die ganze Beobachtung besteht nur darin, daß man nach dem Versuche das Instrument mit dem Normalthermometer in eine und dieselbe Temperatur bringt, um den Stand von beiden zu verzeichnen.

Hiezu bedient man sich, in Ermangelung einer andern constanten Temperatur, am besten eines Eimers mit frischem Brunnenwasser, der bis zu der Zeit, wo die Thermometer einen unveränderlichen Stand angenommen haben, seine Wärme nicht ändert. Die Vergleichung in der Luft könnte durch unvorsichtige Annäherung des Körpers, oder durch Zug und andere zufällige Umstände leicht einen Irrthum veranlassen. Besonders hat man auch darauf zu achten, daß das Instrument, nachdem es den Ort verlassen hat, dessen Temperatur x es annehmen soll, nicht noch höher erwärmt werde, bevor der Stand desselben mit dem des Normalthermometers verglichen ist. Deshalb darf man sich bei Bohrlöchern oder verlassenen Schächten nicht bloß damit begnügen, die Temperatur der größten Tiefe zu untersuchen, sondern man muß auch die von verschiedenen anderen weniger tief liegenden Puncten bestimmen, um sicher zu sein, daß das Instrument sein Maximum nicht in einer geringern Tiefe erreicht habe, als die, bis zu der es herabgelassen worden.

Man sieht leicht ein, daß die Genauigkeit des Instrumentes davon abhängt, daß von dem Quecksilber, das oben bei T durch die Erwärmung heraustritt, beim Erkalten nichts wieder zurückgehe. Dies kann man nur erreichen, wenn man das Thermometerrohr bei T ganz fein auszieht und dann scharf abschneidet. Bei den Instrumenten des Verfassers ist die Öffnung bei T so fein, daß man sie kaum mit bloßen Augen sehen kann. Damit aber jedes aus derselben hervortretende Quecksilberkügelchen sogleich abfalle, ist die Spitze wie in Figur 89. so gebogen, daß sie horizontal steht. Die Thermometerröhre selbst hat einen ziemlich weiten innern Durchmesser, und der daran geblasene Behälter ist so groß, daß jeder Grad der Scale (Réaumur'sche) 0,5 Zoll beträgt. Sollte also auch ein Quecksilberkügelchen an der Spitze hängen bleiben, ohne sogleich abzufallen, und sich beim Abkühlen wieder in das Thermometerrohr mit hineinziehen, so ist dies wegen der Feinheit der Öffnung, durch die es mit dem übrigen Quecksilber zusammenhängt, doch stets so klein, daß es kaum $\frac{1}{10}$ eines solchen Grades beträgt. Übrigens kann man bei Anfertigung des Instru-

mentes mit einiger Geschicklichkeit es leicht dahin bringen, daß auch jede noch so geringe Menge Quecksilber sogleich beim Heraustreten abfalle.

Die Feinheit der Öffnung bei T ist keineswegs ein Hinderniß, um neues Quecksilber einzufüllen, wenn etwa zuviel herausgetreten sein sollte. Man legt zu dem Ende das Instrument horizontal, paßt auf die alsdann vertical stehende Spitze einen kleinen Trichter, in den man einige Tropfen ganz reines und vollkommen trockenes Quecksilber gießt, und erwärmt die Kugel, bis das ganze Rohr mit Quecksilber gefüllt ist; läßt man sie alsdann wieder erkalten, so folgt das Quecksilber aus dem Trichter dem in der Röhre befindlichen bei seiner Zusammenziehung. Als Trichter nimmt der Verfasser einen gewöhnlichen Kork, der oben so vertieft ist, daß er einige Tropfen Quecksilber faßt und unten eine kleine Öffnung hat, mit der er auf die Spitze bei T aufgepaßt wird. Figur 90 stellt einen Durchschnitt desselben dar.

Um nun die für die Scale des Instrumentes nöthigen Puncte zu bestimmen, füllt man dasselbe auf die eben beschriebene Art mit Quecksilber, und bringt es, ohne den Trichter abzunehmen, mit dem Normalthermometer, nach dessen Scale es getheilt werden soll, in eine beliebige, unveränderliche Temperatur T. Wenn man sicher ist, daß dasselbe diese Temperatur angenommen, nimmt man den Trichter mit dem überschüssigen Quecksilber ab und bringt das Instrument zuerst in fein zerstoßenes Eis, um den Nullpunct desselben zu bestimmen, und darauf mit dem Normalthermometer in verschiedene Temperaturen, die zwischen 0° und T° liegen, um so viele Puncte der Scale als nöthig zu bestimmen. Sind diese Puncte einmal bestimmt, so kommt es nicht mehr darauf an, daß gerade das Quecksilbervolumen, dessen Ausdehnung sie anzeigen (das schon oben das ursprüngliche Quecksilbervolumen genannt worden ist), in dem Instrumente bleibe; man braucht daher nun nicht mehr zu scheuen, dasselbe einer Temperatur auszusetzen, die höher ist als T.

Das Zufüllen von Quecksilber wird sehr erschwert, wenn das Thermometerrohr inwendig feucht werden sollte; man muß deshalb dafür sorgen, daß, besonders beim Hinablassen des Instrumentes in Wasser, von diesem nichts durch die Öffnung bei T eindringen könne. Um dies zu vermeiden, befestigt der Verfasser über die Röhre und die daran befindliche Messingscale eine enge Glasglocke h h Figur 91., deren oberes verschlossenes Ende die Spitze bei T so nahe als möglich berührt, und versieht dieselbe unten mit einer Öffnung, damit das Wasser, wenn das Instrument in dasselbe hinabgesenkt wird, ungehindert seinen Druck auf die in der Glocke befindliche Luft ausüben könne. Wird diese nun hiedurch auch zusammengedrückt, so kann diese Zusammendrückung doch niemals so weit gehen, daß das Wasser die Öffnung bei T erreichen könnte.

Der Druck, der in der Tiefe auf das Instrument ausgeübt wird, wirkt auf das Thermometer sowohl von außen, als auch durch die Öffnung bei T von innen. Dieser Druck mag daher noch so stark werden, man hat

niemals eine Beschädigung des Glases durch denselben zu befürchten. Allein da das Glas und das Quecksilber demselben Drucke ausgesetzt werden, die Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers aber bedeutender als die des Glases ist, so wird um so viel weniger Quecksilber aus der Öffnung bei T heraustreten, als dieser Unterschied der Zusammendrückbarkeit beträgt. Colladon und Sturm haben diese Größe bestimmt und gefunden, daß sie für den Druck von einer Atmosphäre 1,75 Milliontheile des angewandten Quecksilbervolumens beträgt. Hieraus kann man leicht berechnen, wie viel Quecksilber zu wenig aus dem Instrumente entwichen ist, und danach die Beobachtung corrigiren.

Man braucht zwar die Thermometerkugel des Instrumentes nicht größer zu machen, als die eines gewöhnlichen Thermometers, allein die zunehmende Größe derselben, von der auch die Größe der einzelnen Grade der Scale abhängig ist, vermehrt die Genauigkeit, ohne Übelstände herbeizuführen; da man doch jedenfalls das Instrument so lange an der zu untersuchenden Stelle lassen muß, bis auch die größere Quecksilbermasse die Temperatur derselben vollständig angenommen hat, wozu beiläufig nur etwa eine Viertelstunde erfoderlich ist. Allein je größer die Kugel ist, um so leichter ist sie auch dem Zerbrechen ausgesetzt; man muß daher Sorge tragen, sie gehörig zu verwahren. Dies erreicht der Verfasser dadurch, daß er statt der Kugel einen cylindrischen Quecksilberbehälter wählt und denselben zwischen zwei Messingscheiben a b und c d Figur 92. einschließt, die durch drei Schrauben a c, b d ꝛc. mit einander verbunden sind; in jede der beiden Scheiben ist eine Korkplatte eingelassen, so daß der Cylinder nur von den Korkplatten berührt wird, in die er etwas versenkt ist. Der obere Kork ist durchbohrt, und durch die Öffnung desselben geht das Rohr des Thermometers. Auf diesem sind die nach dem Normalthermometer bestimmten Puncte mit einem Diamant verzeichnet, damit, wenn man das Instrument aus einander nehmen sollte, man sich immer wieder überzeugen könne, daß diese auch wirklich gerade über den entsprechenden Puncten der Messingscale liegen. Sollte dieses nicht genau der Fall sein, so kann man es leicht dahin bringen, indem man die Schrauben a c, b d ꝛc. ein wenig anzieht oder nachläßt, wodurch die Messingscale, die nur auf die obere Platte c d aufgeschraubt ist, dem Cylinder genähert oder von ihm entfernt wird. Die Platte c d ist bei f g mit einem Schraubengewinde versehen, um auf dieses die Messinghülse h zu schrauben, in welche die Glasglocke h k eingekittet ist. Diese Messinghülse hat eine kleine Öffnung, damit das Wasser bei vermehrtem Druck ungehindert in die Glocke eintreten könne.

Um nun den genauen Werth von x der gesuchten Temperatur zu finden, so bezeichne man das ursprüngliche Quecksilbervolumen, wonach das Instrument getheilt worden, und das es bei 0° bis zum Nullpuncte füllt, mit V; und das Quecksilbervolumen, das nach dem Versuche in dem Instrumente enthalten ist, gleichfalls bei der Temperatur 0° betrachtet, mit V'; ferner sei t die Temperatur, in welche das Instrument zur Verglei-

chung mit dem Normalthermometer nach dem Versuche gebracht wird, und $t'$ die Anzahl von Graden, welche das Instrument bei dieser Temperatur einnimmt; endlich $\frac{1}{\delta}$ die Ausdehnung des Quecksilbers für einen Grad der Scale, nach welcher das Instrument getheilt worden, so hat man folgende Gleichung:

$$V'\left(1 + \frac{t}{\delta}\right) = V\left(1 + \frac{t'}{\delta}\right),$$

weil das Volumen $V'$ bei der Temperatur $t$ denselben Raum einnimmt, den $V$, als das Instrument getheilt wurde, bei der Temperatur $t'$ einnahm.

Ferner hat man die Gleichung:

$$V'\left(2 + \frac{x}{\delta}\right) = V\left(1 + \frac{T}{\delta}\right),$$

denn bei der Temperatur $x$ hatte sich $V'$ so ausgedehnt, daß es das ganze Instrument erfüllte, d. h. denselben Raum einnahm, den $V$ bei der Temperatur $T$ eingenommen.

Dividirt man die obigen Gleichungen durch einander, so erhält man:

$$\frac{1 + \frac{t}{\delta}}{1 + \frac{x}{\delta}} = \frac{1 + \frac{t'}{\delta}}{1 + \frac{T}{\delta}}$$

oder:

$$\frac{\delta + t}{\delta + x} = \frac{\delta + t'}{\delta + T}$$

woraus sich ergiebt:

$$x = \frac{\delta + T}{\delta + t'}(\delta + t) - \delta,$$

oder:

$$x = \frac{(t - t' + T)\delta + tT}{\delta + t'}.$$

Da Colladon und Sturm den Unterschied in der Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers und des Glases für den Druck einer Atmosphäre von $0^m,76$ Quecksilber oder $10^m,32$ Wasserhöhe zu $\frac{1,73}{1000000}$ gefunden haben; so beträgt die Quecksilbermenge, die durch den Druck von einer solchen Atmosphäre verhindert worden aus dem Instrumente zu entweichen, $\frac{1,73}{1000000} V'$, und wenn man diese Größe in Graden des Instrumentes ausdrückt:

$$\frac{1,73 \, V'}{1000000} \cdot \frac{\delta}{V} \text{ Grade.}$$

Da nun $V'$ nur um sehr wenig von $V$ unterschieden ist, so kann man beide, ohne einen Fehler zu begehen, einander gleich setzen, und erhält dann:

$$\frac{1,73}{1000000} \cdot \delta.$$

Bezeichnet nun h die Höhe der Wassersäule, die, wenn das Instrument in die Tiefe hinabgelassen ist, auf dasselbe drückt, so ist, da $10^m,32 = 32,8$ preußische Fuß:

$$\frac{h}{32,8}$$

diese Höhe in Atmosphären ausgedrückt, und folglich ist:

$$\frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}$$

die Anzahl von Graden, um die sich das Quecksilber weniger ausgedehnt hat, als es sich ausgedehnt haben würde, wenn es diesem Drucke nicht ausgesetzt gewesen wäre; man muß daher diese Größe noch zu dem obigen Werthe von x hinzufügen, wodurch dieser dann wird:

$$x = \frac{(t - t' + T)\,\delta + t.T}{\delta + t'} + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}$$

Da $\delta$ für alle gebräuchliche Thermometerscalen, selbst die Fahrenheit'sche, sehr groß ist in Vergleich mit t, t' und T, so sind die nicht mit $\delta$ multiplicirten Glieder sehr klein, in Vergleich mit den übrigen, und können daher gänzlich vernachlässigt werden, wodurch man erhält:

$$x = t - t' + T + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}$$

### Bathometer zu thermometrischen Beobachtungen in der Meerestiefe, von Lenz.

Lenz hat auf der, unter Kotzebue gemachten, Reise um die Welt sich eines vom Professor Parrot angegebenen Bathometers zur Messung der Temperaturen in der Meerestiefe bedient, dessen Beschreibung nebst einer Kritik der früher zu demselben Zwecke angewandten Apparate in Pogg. Ann. XX. 73 enthalten ist. Da die Beschreibung dieses, übrigens sehr sorgfältig construirten, Instrumentes in Verhältniß zu dem Interesse, was es bei seiner beschränkten Anwendung finden kann, zu viel Raum erfodern würde, so verweise ich hinsichtlich derselben auf die Originalabhandlung.

### Thermometer zu Versuchen über die Veränderlichkeit des Siedepunctes, von Kemp*).

Kemp sucht die Empfindlichkeit der Thermometer für diese Untersuchungen durch zwei Mittel zu erhöhen, wovon das erste keineswegs neu ist, denn er versieht ein gewöhnliches Instrument mit engem Rohre nur mit einer größern Kugel und einem cylindrischen weiten Ansatze. Die zweite von ihm empfohlene Einrichtung hingegen verdient nähere Erwähnung.

*) Edinb. J. Nr. IV. p. 262 oder Baumg. VII. 482.

Sie besteht in einer Abänderung des Leslie'schen Differenzialthermometers. Die beiden Kugeln (A und B) befinden sich nicht, wie bei der gewöhnlichen Einrichtung dieses Instrumentes, an der geraden Thermometerröhre, sondern diese ist zwei Mal rechtwinkelig, und zwar zuerst horizontal, dann abwärts gebogen; ferner reicht die Röhre fast bis auf den Boden der Kugel A, und ist stets in die gefärbte Schwefelsäure getaucht, welche einen Theil des inneren Raumes dieser Kugel einnimmt, während sie in der Kugel B heberförmig aufwärts gebogen ist.

Will man mit diesem Instrumente z. B. einen Versuch über den Einfluß der Natur des Gefäßes auf den Siedepunct des Wassers machen, so wird jede der zwei Kugeln dieses Instrumentes in ein Gefäß mit siedendem Wasser getaucht. Hat dieses in beiden Gefäßen einerlei Temperatur, so wird man an der flüssigen Säule keine Bewegung wahrnehmen; findet aber ein Temperaturunterschied Statt, so wird sich derselbe aus der Bewegung der Flüssigkeit der Größe nach abnehmen lassen.

## Taschenthermometer, von Wrench *).

Wrench, physikalischer Instrumentenmacher in London, verfertigt Taschenthermometer, die sich auf die Ausdehnung fester Metalle durch die Wärme gründen, von folgender Einrichtung:

Der wesentliche Theil des Instrumentes besteht aus einem runden Stabe oder Ringe von Stahl und einem ähnlichen von Messing, welche beide offen sind, um Ausdehnung zu gestatten. Diese beiden Ringe stehen in Berührung, ungefähr so wie eine Compensationsbalance eines Chronometers, und setzen, wenn sie sich ausdehnen oder zusammenziehen, mittelst einer empfindlichen Feder einen Zeiger in Bewegung, welcher die Wärme- oder Kältegrade auf einem Emaillezifferblatte angiebt. Das Instrument hat ungefähr die Größe einer gewöhnlichen Taschenuhr. Eine Abbildung desselben ist Figur 94. gegeben. Ein Theil des Zifferblattes ist weggenommen, damit man die inneren Theile sehen kann. Man wird bemerken, daß das eine Ende des offenen Ringes durch eine Schraube fest an der Platte angeschraubt, das andere aber freigelassen ist. Der Ring besteht innerhalb aus Messing, außerhalb aus Stahl, und ein kleines Stück, welches an seinem äußern Ende hervorsteht, liegt an dem Arme des hängenden gezahnten Kreisabschnittes an. Dieser gezahnte Kreisabschnitt greift in ein sehr kleines Triebrad in der Mitte der Platte, auf der Achse des Zeigers, und eine sehr fein gewundene Feder ist mit der Achse verbunden, welche den Zeiger in der einen Richtung treibt, während die Ausdehnung des Ringes ihn nach der entgegengesetzten Richtung treibt. Wenn sich durch Erhöhung der Temperatur der Umfang des Ringes verlängert, so wird der Arm des hängenden Kreisabschnittes nach der einen Seite getrieben und zugleich das Triebrad gedreht, und der auf dem Zifferblatte herumgeführte Zeiger giebt

*) Dingler's polyt. J. XLI. 102.

die Wärmegrade an; vermindert sich die Temperatur, so verkürzt sich der metallene Ring, die um die Centralachse gewundene Feder bringt das Triebrad zurück und der gezahnte Kreisabschnitt und der Zeiger geben die Kältegrade an.

Die Temperaturveränderungen werden durch dies Instrument nicht so schnell als durch das Quecksilberthermometer angezeigt.

### Pyrometer von Macaire Prinsep *).

Die neuesten Pyrometer, die man bis jetzt zum Maße hoher Temperaturen vorgeschlagen hat, sind unzulänglich, wenn es darauf ankommt, zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten vergleichbare und identische Resultate damit zu erhalten. Macaire Prinsep schlägt zur Erreichung dieses Zweckes folgende neue pyrometrische Einrichtung vor:

Als fixe Puncte ihrer Scale gelten die Schmelzpuncte des Silbers, Goldes und Platins; die Zwischengrade werden durch die Schmelzpuncte von Legirungen dieser Metalle, die nach einem bestimmten Verhältniß derselben gemacht sind, gegeben. Da der Schmelzpunct des Goldes nicht viel höher als der des Silbers ist, so werden bloß 10 Zwischengrade zwischen den Schmelzpuncten beider angenommen, welche Grade so bestimmt sind, daß die Quantität Goldes in jeder der Zwischenlegirungen immer um 10 Procent zunimmt, und der Grad 10 selbst dem Schmelzpuncte des reinen Goldes, der Nullpunct dem Schmelzpunete des reinen Silbers entspricht. Zwischen dem Schmelzpuncte des reinen Goldes bis zu dem des reinen Platins sind 100 Grade angenommen, indem successiv 1 Procent des letztern Metalles für jede höhere Legirung zugesetzt wird, so daß 100° dem reinen Platin selbst entspricht. Es ist allerdings sehr fraglich und selbst wenig wahrscheinlich, daß diese so festgesetzten Grade den wirklichen Temperaturen selbst genau proportional sind, da die Schmelzbarkeit der Legirungen im allgemeinen nicht die mittlere der in sie eingehenden Metalle ist; allein man wird wenigstens eine genaue Bezeichnung derselben absoluten Temperatur dadurch erhalten, indem man jede Temperatur durch die strengflüssigste der Legirungen bezeichnet, welche bei dieser Temperatur noch darin zu schmelzen vermag, was für die praktische Anwendbarkeit hinreicht, und es ist dann noch möglich, durch directe Versuche die Vergleichung dieser Grade mit den auf das Luftthermometer bezogenen wirklichen Temperaturgraden zu finden, wie Prinsep selbst für einige dieser Temperaturen gethan hat.

Die Bezeichnungsart, die Prinsep zur Angabe der Grade seiner pyrometrischen Vorrichtung gewählt hat, ist folgende:

S. 0,3 G. bedeutet eine Legirung aus 0,7 Silber, 0,3 Gold;

G. 0,23 P. eine Legirung aus 0,77 Gold und 0,23 Platin u. s. f.

*) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 247 oder Erdmann's J. VII. 80.

Zur bequemen Anwendung seiner pyrometrischen Vorrichtung hat Prinsep kleine Kapellen, von denen jede in gesonderten Fächern 8 bis 10 auf einander folgende pyrometrische Legirungen bloß von der Größe eines Stecknadelkopfes enthält. Diese Kapellen werden der zu bestimmenden Temperatur ausgesetzt, und die schwerflüssigste der Legirungen, die dann schmilzt, dient zur Bezeichnung der Temperatur.

Solchergestalt fand Prinsep u. a. folgende Resultate über die Temperatur verschiedener Theile und Arten von Öfen.

| | | |
|---|---|---|
| Muffel eines Probirofens, vorn | S. 0,0 | G. |
| desgl. — — in der Mitte | S. 0,3 | G. |
| desgl. — — hinten | S. 0,5 | G. |
| Kohle von Calcutta, welche besser als die von Benares ist, erhitzt gewöhnlich die Muffel auf | S. 0,04 | P. |
| Silberschmelzofen in Calcutta, aber von englischer Einrichtung | G. 0,075 | P. |
| Offener Ofen, zu Calcutta gebräuchlich | G. 0,06 | P. |
| Reverberirofen zu Calcutta, zum Schmelzen der Proben | G. 0,20 | P. |
| Ofen mit Graphitsole, ohne Rauchfang | G. 0,08 | P. |
| Ende der Flamme eines Blasbalges mit verdichteter Luft | G. 0,20 | P. |
| Höchster Hitzegrad eines mit Kohle von Benares geheizten Schmiedeofens | G. 0,55 | P. |
| Ungefährer Schmelzpunct des Kupfers nach 2 Versuchen unter einer Muffel | G. 0,03 | P. |
| Ungefährer Schmelzpunct des Eisens | G. 0,30 | P. |

Um den Schmelzpunct des Silbers und einiger anderen Temperaturen durch Grade des Luftthermometers zu bestimmen, verfuhr Prinsep so, daß er das Luftvolumen bestimmte, welches aus einer goldenen Retorte, die der Temperatur des schmelzenden Metalles ausgesetzt war, vermöge Ausdehnung der darin enthaltenen Luft austrat, welches Luftvolumen durch die Quantität Öl gemessen ward, die aus einem mit der Retorte durch abgekühlte Röhren in Verbindung gesetzten und mit einem Abzugshahne versehenen, Reservoire abgelassen werden mußte, damit das erste Gleichgewicht des Druckes sich herstellte. Diese Operationsmethode erfodert, um hinreichend genaue und zulässige Resultate zu geben, viele Rücksichten und Correctionen, die Prinsep nicht vernachlässigt hat, hinsichtlich deren ich jedoch auf die Originalabhandlung verweise. Jedenfalls fand er solchergestalt folgende mittlere Resultate:

| | | |
|---|---|---|
| Volle Rothglühhitze | 1200° F. | = 649° C. |
| Orangeglühhitze | 1650° F. | = 899° C. |
| Schmelzpunct des Silbers | 1830° F. | = 999° C. |
| Silber mit $\frac{1}{10}$ Gold | 1920° F. | = 1048° C. |
| Silber mit $\frac{1}{4}$ Gold | 2050° F. | = 1121° C. |

Bemerkt muß werden, daß diese Data vielleicht um einige Grade zu tief sind, wenn man berücksichtigt, daß Prinsep die nur bis 100° C.

bekannte Ausdehnung des Goldes gleichförmig nach demselben Gesetze als für die höchsten Temperaturen fortschreitend angenommen und hienach das in der goldenen Retorte zurückgebliebene Luftvolumen corrigirt hat, da doch nach Erfahrungen bei anderen Metallen anzunehmen ist, daß in hohen Hitzegraden die Zuwüchse der Ausdehnung rascher als die der Temperatur steigen, mithin die Luft eine etwas größere Expansion erfahren haben mochte, als Prinsep bei obigen Bestimmungen zu Grunde gelegt hat.

### Pyrometer von Neumann *).

Neumann schlägt vor, einen langen Platinstreifen von etwa $\frac{1}{4}$ Lin. Dicke, 3 Lin. Breite und 240 Zoll Länge, der bequemern Form halber in eine Schraubenlinie von 50 Windungen zusammengebogen, der Hitze, die man messen will, auszusetzen, und die erfolgende Ausdehnung durch, mit der Lamelle in Verbindung stehende Hebel, Räderwerk und Zeiger zu vergrößern und anzuzeigen. Er hat die Art, wie ein solches Instrument am zweckmäßigsten auszuführen sein möchte, näher beschrieben und durch Figuren erläutert. Da indeß bis jetzt ein solches Instrument noch nicht verfertigt und zu Versuchen angewandt ist, so verweisen wir hinsichtlich des Nähern auf die Originalabhandlung. Natürlich können die Hitzegrade den Ausdehnungsgrößen nicht vollkommen proportional sein, wegen der mit der Temperatur steigenden Ausdehnbarkeit des Platins.

### Register-Pyrometer von Daniell **).

Dies Instrument ist bestimmt, hohe Temperaturen durch den Ausdehnungsunterschied einer Platinstange und einer (hohlen) Graphitstange zu messen. Das Wesentliche seiner Einrichtung beruht auf Folgendem:

Man nimmt eine solide Stange von Graphit (black-lead earthenware), die Daniell das Register nennt, von 8 Zoll Länge, $\frac{7}{10}$ Zoll Breite und derselben Dicke, und bohrt ihrer Axe nach eine cylindrische Hölung in dieselbe von $\frac{3}{10}$ Zoll Durchmesser und $7\frac{1}{2}$ Zoll Tiefe (so daß also die Hölung die Gestalt einer Nadelbüchse haben würde). Am obern Ende werden ungefähr $\frac{6}{10}$ Zoll Länge von der Stange bis zur Hälfte ihrer Dicke weggeschnitten (so daß in diesem Theile der Länge die Hölung einen Halbcylinder bildet, der sich nach unten in einen ganzen Cylinder fortsetzt). Man steckt nun eine Platinstange von $6\frac{1}{2}$ Zoll Länge in die cylindrische Höle, so daß sie sich an den Boden derselben stützt, und auf den Gipfel dieser Stange setzt man ein cylindrisches Porzellanstück von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge auf, welches Daniell den Index nennt. Aus den angegebenen Dimensionen der Theile geht hervor, daß dieser Index mit einem Ende seiner Länge sich noch in dem ganz cylindrischen Theile der Höle befinden wird (da die Me-

*) Baumg. X. 284.

**) Phil. transact. 1830. P. II. p. 257; oder Journ. of the royal Inst. Nr. 2. p. 338; oder Baumg. X. 358 oder Erdmann's J.

tallstange, auf welcher er aufsteht, kürzer als dieser ganz cylindrische Theil ist), und mit dem andern Theile über den halbcylindrischen Theil der Hölung hervorragen wird (da die Summe der Längen der Metallstange und des Porzellanstückes 8 Zoll ist, während der ganz cylindrische und halb cylindrische Theil der Hölung zusammen nur 7½ Zoll Länge haben). Um den Index zu fixiren, legt man einen gemeinschaftlichen Ring von Platin um ihn und den obern (halbcylindrischen) Theil der Graphitstange, den man durch Einschiebung eines kleinen Keiles von Porzellain anspannt.

Begreiflich nun, wenn dieser Apparat einer hohen Temperatur ausgesetzt wird, wird die Metallstange vermöge des Überschusses ihrer Ausdehnung über die des Graphites den Index vorwärts treiben, und dieser wird nach erfolgter Wiederabkühlung an der Stelle seiner größten Elongation liegen bleiben. Es kommt also nur noch darauf an, diese Weite, auf welche der Index von seiner ursprünglichen Lage fortgerückt worden ist, auf das Genaueste zu messen.

Da diese Weite jedenfalls nicht gros ist, so bedient sich Daniell des, in der Regel bei solchen Versuchen angewandten Verfahrens, ihre Anzeige durch einen als Hebel wirkenden Zeiger zu vergrößern. Hinsichtlich der Ausführung dieses Theiles des Instrumentes verweise ich auf die Originalabhandlung, wo sie durch Figuren erläutert ist.

Wie man sieht, erfodert die Anwendung dieses Pyrometers, daß man das Ausdehnungsverhältniß des Graphites kenne, den man zum Register angewandt hat, um aus der scheinbaren Ausdehnung der Platinstange die wahre und hienach (mittelst des bekannten Ausdehnungsverhältnisses des Platins) die Temperatur berechnen zu können. Daniell nun bestimmt die absolute Ausdehnung des Graphites dadurch, daß er die scheinbare Ausdehnung einer Platin- oder Eisenstange mittelst des Registers selbst bestimmt, und hievon die wahre Ausdehnung des Platins oder Eisens, die er als durch Dulong und Petit's Versuche bekannt ansieht, abzieht; den Rest betrachtet er alsdann als die Ausdehnung des Graphites. Er fand solchergestalt für die Ausdehnung eines Registers von 6,5 Zoll Länge zwischen 64° und 66° F. eine lineare Ausdehnung von 0,00784 Zoll bei Prüfung durch Platin und 0,00878 Zoll bei Prüfung durch Eisen, welche nahe (?) übereinstimmenden Werthe er zugleich als einen Beweis der Genauigkeit seines Werkzeuges ansieht.

Übrigens ist zu bemerken, daß die Beschaffenheit des Graphites auf sein Expansionsvermögen von Einfluß ist, indem sich nach Daniell's Versuchen Graphit von feinerm Korn minder ausdehnt als Graphit von gröberm; daher die Expansion für jedes Register aus anderm Graphit besonders bestimmt werden muß.

Noch ist zu bemerken, daß bei dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse die genaue Reduction der Anzeigen, welche dieses Instrument giebt, auf Grade des Luftthermometers etwas Precäres hat, insofern wir nicht wissen, in welchem Verhältnisse die Incremente der Temperaturen und Aus-

dehnungen (welche letztere das Instrument nur anzeigt) bei sehr hohen Hitzegraden zu einander stehen.

Bekanntlich wachsen die Ausdehnungen stärker als die Temperaturen; aber nur bis 300° C. ist für das Platin durch Dulong und Petit ausgemittelt worden, in welchem Verhältnisse. Indeß kann man, als wahrscheinliches Resultat, annehmen, wie dies auch von Daniell geschieht, daß der Zuwachs der Ausdehnung gegen die Temperaturen auch für höhere Temperaturen nach demselben Verhältnisse fortschreitet, und hienach die Temperaturen berechnen.

### Pyrometrisches Verfahren von Schwartz.

Schwartz *) schlägt zur Messung hoher Ofentemperaturen vor, einen in dem Ofen erhitzten Platinwürfel in Quecksilber einzutauchen und aus der Temperaturerhöhung, die dieses erfährt, mit Rücksicht auf die bekannte Wärmecapacität des Platins und Quecksilbers, die Ofenhitze zu berechnen. Uns scheint jedoch, abgesehen von anderen Schwierigkeiten, die eine Genauigkeit bei dieser Methode zu erlangen erschweren, diese Methode schon deshalb ihr Mißliches zu haben, weil die Wärmecapacität in hohen Temperaturen mit der in niederen Temperaturen nicht übereinstimmt.

### Verschiedene Pyrometer und Calorimeter.

Eine zusammenstellende Beschreibung und Abbildung der Calorimeter von Lavoisier, Rumford, May, und Pyrometer von Mortimer, Wedgwood, Mill, Prinsep, Muschenbroeck, Smeaton, Ferguson, de Luc, Hare findet sich in dem zu Weimar erscheinenden Laboratorium 24. Heft Taf. XCV.

---

## IV. Schmelzen und Erstarren der Körper.

### Schmelzpunct verschiedener Metalle **).

Daniell hat mittelst seines neuen Registerthermometers Versuche über die Schmelzpuncte verschiedener Metalle angestellt, die er für zuverlässiger erklärt, als die früher von ihm angegebenen Schmelzpuncte. Es sind folgende:

| | Schmelzpunct ***) |
|---|---|
| von Silber | 1873° F. = 1022°$\frac{7}{9}$ C. |
| von Kupfer | 1996° F. = 1091°$\frac{1}{9}$ C. |

*) Erdmann's J. II. 341.

**) Phil. transact. 1830. P. II. p. 285.

***) Diese Schmelzpuncte wurden mittelst eines Platin-Registerthermometers

| | Schmelzpunct |
|---|---|
| von Gold | 2091° F. = 1102°$\frac{7}{9}$ C. |
| von Eisen | 2786° F. = 1530° C. |

Daß Prinsep den Schmelzpunct des Silbers = 999° C. gefunden hat, ist schon S. 454 erwähnt worden, was, wie man sieht, sehr nahe mit Daniell's Resultate stimmt, und wahrscheinlich noch mehr stimmen würde, wenn Prinsep die Correction wegen Ausdehnung der Retorte etwas höher angenommen hätte (vergl. S. 454).

Schwartz *) gibt folgende Bestimmungen über die Schmelzpuncte mehrerer Metalle:

| | |
|---|---|
| Zinn schmolz bei | 220° C. |
| Blei | 340° |
| Wismuth | 260° |
| Zink | 500° |
| Antimon | 620° |

Es scheint indeß nicht, als ob die Methode, deren er sich zu dieser Bestimmung bediente, großes Zutrauen verdiente. Diese Methode beruhte auf der S. 457 angegebenen Weise, hohe Temperaturen zu bestimmen.

## Über Expansion und Contraction geschmolzener Metalle beim Erstarren, von Marx **).

Das Wismuth besitzt in hohem Grade die, bekanntlich auch dem Wasser zukommende, Eigenschaft, während des Erstarrens oder Krystallisirens einen größern Raum als im flüssigen Zustande einzunehmen und mit einer starken Gewalt sich auszudehnen.

Man kann diese Erscheinung durch verschiedene leichte und belehrende Versuche nachweisen. Man nehme eine kleinere oder größere Quantität Wismuth und schmelze sie in einem eisernen Löffel oder auch in einer Glasröhre über der Spiritusflamme, und halte dann die geschmolzene Masse aus der Flamme, so wird sie noch einige Zeit flüssig bleiben, dann auf der Oberfläche erstarren. Wenn man nun glauben möchte, der ganze Inhalt sei schon erstarrt, so bemerkt man, oft erst nach einigen Minuten, eine Bewegung an der Oberfläche, und plötzlich bringen an einer oder an verschiedenen Stellen Theile des Metalles aus dem Innern hervor und setzen sich von Außen in sphäroidischen

gefunden, und sind wegen des steigenden Verhältnisses der Ausdehnung für höhere Temperaturen, unter zu Grundelegung des von Dulong und Petit gefundenen Verhältnisses corrigirt (vgl. S. 457). Bei Vernachlässigung dieser Correction, unter Annahme nämlich, daß gleiche Incremente der Ausdehnung des Platins gleichen Temperaturzunahmen entsprechen, würden die Temperaturen der Schmelzpuncte in Fahrenheit'schen Graden respectiv gewesen sein: von Silber 1942, Kupfer 2070, Gold 2091, Eisen 2889.

*) Erdmann's J. II. 344.

**) Schweigg. J. LVIII. 454. Pharmac. Centralbl. I. 166.

Formen an *). Diese Theile bilden ein Ganzes mit der übrigen Masse, und bricht man sie ab, so zeigt sich ihr Blättergefüge unmittelbar zusammenhängend mit dem übrigen. Macht man den Versuch in einem Schmelztiegel über Kohlen, so findet das Gleiche Statt; gießt man die geschmolzene Masse aus, so zeigen sich an ihr dieselben Erscheinungen, nur daß die Auswüchse mehr kugelförmig sind. Ist das Ausgegossene sehr flach und dünn, so erstarrt es meist ohne weitere Veränderungen. Am besten glücken sowohl diese, als viele der später anzuführenden Versuche, wenn man das Geschmolzene auf eine eiserne Platte, welche halbkugelförmige Vertiefungen hat, ausgießt. Die hervorgedrungenen Theile stehen stets im Verhältniß zur angewandten Menge. Leicht ist nun der Ursprung der warzenförmigen Erhöhungen erklärlich, die man stets auf den im Handel vorkommenden Wismuthkuchen findet.

Bei einem Versuche, wo das Hervorgedrungene sich besonders rein von der übrigen Masse ablösen ließ, bestimmte Marx das gegenseitige Gewicht derselben. Das größere Stück wog 52,351 Grammen, das aus dem Innern Herausgewachsene 1,012 Grammen.

Wie groß die bei der Ausdehnung des Wismuthes in Wirkung tretende Kraft sei, können folgende Versuche zeigen.

Man erhitze enge Glasröhren, mit gepulvertem Wismuth gefüllt, vorsichtig. Das geschmolzene Metall wird bei nachherigem Erstarren die Röhren zersprengen. Oder (was eine leichtere Art ist, den Versuch anzustellen) man tauche erwärmte Thermometerröhren in einen Tiegel, worin sich Wismuth in dünnem Fluße befindet, und sauge dann mit dem Munde einen Metallfaden, der oft 6 bis 10 Zoll betragen kann, herauf. Wenige Minuten, oft wenige Secunden, nachdem man die Röhre in die Luft gehalten oder auf Papier gelegt, zerspringt sie, zuweilen mit einem heftigen Knall, nach verschiedenen Seiten hin, was bei Anwendung anderer Metalle als Wismuth im Allgemeinen nicht der Fall ist. Die Röhren zerspringen oft so der Länge nach, daß sich lange und parallele Glasfasern, wie sie nicht wohl auf anderen Wegen erlangt werden möchten, abtrennen, so daß augenscheinlich die ausdehnende Kraft gleichförmig und senkrecht auf die Längenrichtung der Röhren wirkt. Zuweilen indeß, und zwar gerade am Meisten beim reinen Wismuthe, bleiben die Röhren auch nach dem Füllen unversehrt. Dann sind die aufgezogenen Fäden zu kurz, so daß sie sich der Länge nach ausdehnen können, also die Röhre nicht zertrümmern. Man kann sich jedoch davon, daß auch in diesem Falle Ausdehnung Statt finde, leicht dadurch überzeugen, daß man einen solchen Faden oder einen kleinen Theil desselben in der Röhre bis zum Schmelzen erhitzt; beim Erkalten sieht man dann ein neues blankes Stück aus demselben hervortreten, das bei wiederholtem Erhitzen sich wieder zurückzieht.

Das Wismuth vermag seine Eigenschaft, sich beim Erstarren auszu-

*) Von einer Gasentwickelung ließen sich bei diesem Vorgange keine deutlichen Spuren wahrnehmen.

dehnen, auch vielen anderen Metallen (Natrium, Zinn, Antimon, Kupfer, Silber ꝛc.) mitzutheilen, wenn es sich in hinlänglichem Verhältniß mit ihnen verbindet. Wir verweisen jedoch hinsichtlich der speciellen Angaben hierüber, da sie keine weiteren Eigenthümlichkeiten der Erscheinung darbieten, auf die Originalabhandlung, und wollen nur des in der angegebenen Hinsicht sehr ausgezeichneten Schwefelwismuthes und des sich entgegengesetzt verhaltenden Schwefelantimons noch besonders erwähnen.

Man erhält das Schwefelwismuth, wenn man Schwefel auf das geschmolzene Metall wirft und den überschüssigen wegbrennen läßt. Beim Guße nun zeigen sich die merkwürdigsten Erscheinungen von allen bisher beschriebenen; kaum hat man das Schwefelwismuth in die Vertiefung gegossen, so erstarrt es, und aus ihm heraus treiben sich gewaltige Erhöhungen, die fast den vierten Theil des ganzen Volumens betragen. Zwischen ihnen quellen glänzende Kugeln hervor, und nimmt man rasch einen erstarrten, aber noch warmen Kuchen und schlägt ihn entzwei, so sieht man allerwärts aus dem Innern noch ähnliche Kügelchen hervorbringen. In Röhren läßt sich die geschmolzene Masse durchaus nicht aufziehen; eher scheint ein Abstoßen von denselben, als ein Adhäriren Statt zu finden. Bei Schwefelleber, Schwefelblei, Schwefeleisen konnten keine analogen Erscheinungen wahrnehmbar gemacht werden; Schwefelantimon aber zeigte eben so merkwürdige entgegengesetzte Eigenschaften *).

Wenn man das gewöhnliche Antimonium crudum schmilzt und in die Vertiefungen ausgießt, so zieht es sich beim Erstarren zusammen. Es bilden sich Spalten und Risse, die zuweilen mit solcher Gewalt auseinander fahren, daß die einzelnen Theile weit hingeschleudert werden. Durch das Zusammenziehen werden zuweilen in der übrigen noch weichen Masse einzelne Theile herausgetrieben, welche dann auch zu Kugeln erstarren.

Auch an dem reinen Zink nahm Marx ein Verhalten wahr, welches gewissermaßen das Widerspiel von dem des Wismuthes ist. Wird es in einem Tiegel geschmolzen und dann in eine Vertiefung, die in eisernes Blech geschlagen ist, ausgegossen, so bleibt es noch einige Zeit flüssig, dann entsteht eine Bewegung auf seiner Oberfläche, die hierauf in der Mitte sich vertieft, Furchen bekommt und sich somit heftig nach allen Seiten hin zusammenzieht. Diese Zusammenziehung dauert auch später noch fort, welches aus den Erscheinungen der Glasröhren deutlich hervorgeht. In

*) Schweigger-Seidel (Schweigg. Journ. LIX, 250) bemerkte mehrmals beim Erstarren der officinellen Schwefelleber und der Antimonleber, insbesondere aber der Schlacken von Spießglanzkönig, ein analoges Hervorbringen halbflüssiger Massen aus dem Innern, als beim geschmolzenen Wismuth und Schwefelwismuth, nur in weit geringerer Masse. — Der Versuch mit der Kalischwefelleber glückte Marx bei der Wiederholung nicht; wohl aber beobachtete er beim Ausgießen und Erstarren der Antimonleber auf einem Eisenblech eine heftige Zusammenziehung, die mit Knistern, Zerfahren und Fortschleudern der Theile verbunden war.

diesen läßt sich das gut geschmolzene Zink leicht in langen und blanken Fäden aufsaugen. So wie diese allmälig erkalten, springen die Röhren der Quere nach, weil das Glas, dessen Veränderung durch die Wärme ungefähr nur $\frac{1}{4}$ von der des Zinkes beträgt, der Zusammenziehung des Metalles nicht schnell genug folgen kann. Zuweilen sahe Marx die Zinkfäden deshalb selbst an verschiedenen Orten auseinander reissen. Das Entzweispringen der Röhren fängt manchmal erst nach $\frac{1}{4}$ Stunde an und dauert oft stundenlang fort. Längenrisse, die dabei erscheinen, sind nur Folge der Querrisse.

Das reine Zinn scheint beim Erstarren ebenfalls eher eine Zusammenziehung als eine Ausdehnung zu erfahren. Wenigstens zeigen geschmolzene Zinnmassen während des Erkaltens eine gegen die Mitte mehr vertiefte Oberfläche, wo sich indessen auch ein Netzwerk nadelförmiger Krystallisationen bildet.

Am Antimon und Blei wurden keine, mit den vorigen analoge, Erscheinungen wahrgenommen.

### Umstände, beim Erkalten des geschmolzenen Schwefels wahrgenommen, von Marx *).

Aus des Verfassers Untersuchungen gehen folgende Resultate hervor:

1) Der Schwefel erleidet beim Erstarren nicht, wie man angegeben hat, eine Ausdehnung; vielmehr bemerkt man, wenn man das Niveau, das er geschmolzen in Gefäßen einnimmt, bezeichnet hat, im Moment des Erstarrens ein Herabsinken unter dies Niveau, ein Zusammenziehen nach verschiedenen Richtungen, von denen die Krystallnadeln ausfahren. Daß der geschmolzene und in Formen erstarrte Stangenschwefel oft ein so geringes specifisches Gewicht von nur 1,92 besitzt, rührt daher, daß die anschießenden Krystallnadeln, während ihre Substanz sich verdichtet, zwischen sich hohle, lufterfüllte Räume lassen. Auch in Röhren aufgesogen zeigt der Schwefel keine Spur von Ausdehnung und in dünngeblasenen gläsernen Kugeln erstarrend nicht das geringste Bestreben, sie zu zerbrechen. Beobachtet man umgekehrt die Erscheinung des erstarrten Schwefels bei nochmaliger Schmelzung, so sieht man deutlich, wie der flüssig werdende sich ausdehnt und nach und nach die oben bemerkten leeren Räume wieder ausfüllt.

2) Wenn der Schwefel von der Temperatur an, wo er dickflüssig ist, erkaltet, so ist der Gang dieses Erkaltens ein sehr ungleichförmiger; anfangs nämlich (von 150° R. bis ungefähr 125° C.) herab, nehmen die successiven Zeiten, in welchen er um je 5° R. erkaltet, immer mehr an Länge ab, von da an aber wieder zu.

3) Bei verschiedenen Versuchen zeigte sich eine große Verschiedenheit hinsichtlich der Temperatur, bei welcher der Schwefel noch flüssig zu bleiben vermochte, indem er in einem Versuche noch bei 79° R. flüssig blieb, bei dem andern bis 83° R., eine Verschiedenheit, die von zufälligen, kaum

*) Schweigg. J. LX. 1.

zu vermeidenden, äußeren Ursachen, hauptsächlich von kleinen Erschütterungen herrühren mag.

4) Besondere Aufmerksamkeit verdient die große Wärmemenge, welche beim Festwerden des Schwefels entbunden wird, die so groß ist, daß das Thermometer nicht nur genöthigt wird, beinahe um 8° R. wieder in die Höhe zu gehen, sondern auch, daß es, um wieder auf den vorigen Stand zurückzusinken, fast eine volle Viertelstunde Zeit braucht; woraus zugleich erhellt, daß die Frage nach dem Schmelzpuncte des Schwefels eigentlich unbestimmt ist, weil während seines Fest- und Flüssigseins eine so große Temperaturdifferenz Statt finden kann.

5) Der schon erstarrte Schwefel kühlt sich bis zum ersten Erstarrungspuncte mit beschleunigter, und erst von hier an mit verminderter Geschwindigkeit ab.

Die Verfahrungsweise des Verfassers bei Beobachtung der Erkaltungszeiten des Schwefels war, daß ungefähr 1 Pfund desselben in einem Schmelztiegel, der in einem eisernen Ringe hing, über Kohlen erhitzt ward und die Abkühlungszeiten mit einer Secundenuhr von Grad zu Grad unter Anwendung eines sehr genau calibrirten Thermometers bestimmt wurden. Im Original sind mehrere Beobachtungsreihen beigefügt.

## Über Stockung beim Erkalten von Metalllegirungen, von Rudberg *).

Rudberg hat die bemerkenswerthe Erfahrung gemacht, daß eine Legirung aus zwei Metallen, die über den Schmelzpunct erhitzt ist, anstatt gleichförmig zu erkalten, vielmehr bei zwei Temperaturgraden einen eine Zeitlang stationären Zustand zeigt. Der eine, niedrigere dieser Puncte ist für alle Legirungen, die (in verschiedenen Verhältnissen) aus denselben Metallen bestehen, derselbe, und bezeichnet ihre Erstarrungstemperatur, der andere ändert sich mit dem Verhältnisse zwischen beiden Metallen und fällt für ein gewisses Verhältniß mit dem vorigen zusammen. Dies Resultat ergab sich bei Legirungen von Blei und Zinn, Zinn und Wismuth, Zink und Zinn, Blei und Wismuth, Zink und Wismuth, welche in dieser Hinsicht geprüft wurden, und ist wahrscheinlich eine gemeinsame Eigenschaft aller Legirungen. Es findet dies Resultat sogar auch für ternäre Legirungen Statt, indem auch hier ein ganz fixer Punct sich für die verschiedensten Verhältnisse ihrer Bestandtheile findet; aber statt eines finden sich hier zwei je nach den Verhältnissen veränderliche stationäre Puncte.

Die beigefügte Tafel enthält die Resultate der mit Legirungen aus Zinn und Blei angestellten Beobachtungen **). Die Metalle waren in bestimmten einfachen Atomenverhältnissen zusammengeschmolzen, welche oben

*) Pogg. XVIII. 240.

**) Im Original sind auch analoge Tabellen für Legirungen aus Zinn und Wismuth und Zinn und Zink beigefügt. Übrigens bemerkt der Verfasser, daß, da das von ihm angewandte Thermometer nicht calibrirt war und keinen richti-

in der horizontalen Columne angegeben sind. In den verticalen Columnen stehen die Erkaltungszeiten für jede 10 Grade.

Beobachtete Erkaltungszeiten bei Legirungen von Blei und Zinn für jede 10 Grade des hunderttheiligen Thermometers.

| | Th. Gr. | Pb. | Pb³. Sn. | Pb². Sn. | Pb. Sn. | Pb. Sn². | Pb. Sn³. | Pb. Sn⁴. | Pb. Sn⁶. | Pb. Sn¹². | Sn. | Th. Gr. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 350° | | | | | | | | | | | 350° | |
| | 340 | | | | | | | | | | | 340 | |
| Das Blei erstarrte bei 325°. | 330 | 12″ | | | | | | | | | | 330 | |
| | 320 | (2′51″) | 11″ | 11″ + | 11″ | 10″ + | 11″ | 11″ | 11″ | 11″ | | 320 | |
| | 310 | 16″ | 13 | 13 | 13 − | 13 | 13 + | 13 − | 13 | 13 − | | 310 | |
| | 300 | 15 | 14 | 14 + | 13 + | 14 | 14 | 14 | 14 + | 13 + | | 300 | |
| | 290 | 15 | 15 | 15 | 16 − | 15 | 15 + | 15 | 15 | 15 + | 14″ | 290 | |
| | 280 | 16 + | (1′36″) | 17 | 17 | 17 | 18 − | 17 + | 17 | 17 | 16 | 280 | |
| | 270 | 17 − | 58″ | (1′6″) | 19 − | 17 + | 18 | 18 | 18 | 18 | 17 + | 270 | |
| | 260 | 17 ,5 | 45 | (1′0″) | 19 + | 19 | 19 | 20 | 19 + | 18 + | 19 | 260 | |
| | 250 | 19 − | 40 | 50 | 21 | 20 + | 20 | 21 | 21 | 21 − | 20 | 250 | |
| | 240 | 20 | 36 | 44 | (1′7″) | 22 | 23 − | 22 | 22 | 22 − | 22 | 240 | |
| | 230 | 22 | 33 | 41 | 57 + | 24 | 24 + | 24 | 24 − | 23 + | 23 + | 230 | Das Zinn erstarrte bei 228°. |
| | 220 | 23 + | 33 | 39 − | 51 | 28 | 25 | 25 | 25 + | 24 | (9′20″) | 220 | |
| | 210 | 25 | 33 | 37 + | 49 | 30 | 28 | 28 | 28 | (4′23″) | 33″ | 210 | |
| | 200 | 27 | 34 | 38 | 43 | (1′2″) | 31 | 30 | (3′ 5″) | 2 34 | 33 | 200 | |
| Fester Punct bei 187°. | 190 | 31 | 36 | 40 | 49 | 1′0″ | 35 − | 34 | 3′ 1″ | 1 56 | 35 | 190 | |
| | 180 | 34 | (1′48″) | (3′0″) | (5′48″) | (9′25″) | (11′29″) | (11′51″) | (6′26″) | (3 49) | 38 | 180 | |
| | 170 | | 45 − | 40 | 40 | 44 | 50″ | 41 − | 41″ | 41″ | 40 | 170 | |
| | 160 | | 42 | 42 | 40 | 44 + | 54 | 42 | 42 | 43 | 43 | 160 | |
| | 150 | | 50 | 49 − | 52 | 53 | 1′ 5″ | 53 | 52 | 49 | 50 − | 150 | |
| | 140 | | 1′12 | 1′27 | 1′33 | 1′23″ | 1 11 | 1′ 5″ | 59 | 56 | 52 | 140 | |
| | 130 | | 1′19 | 1′10 | 1′ 2 | 1′ 8 | 1 17 | 1 4 | 1′ 3 | 1′ 1″ | | 130 | |

gen Nullpunct besaß, die gegebenen Thermometergrade nicht als ganz genau gelten können.

Bei allen 8 Legirungen aus Blei und Zinn, von denen ersteres bei 325° C., letzteres bei 228° C. erstarrt, blieb das Thermometer immer lange Zeit durchaus auf demselben Puncte, nämlich auf 187° C. stille stehen, weshalb die Zeiten für das Intervall von 190° bis 180° C. bedeutend größer sind, als die Zeiten, welche den zunächst vorangehenden und nachfolgenden 10 Graden entsprechen. Außer dem Stillstande bei diesem durchaus festen Puncte hat aber das Thermometer noch eine zweite Verzögerung erlitten, für die Legirung aus 3 Atomen Blei und 1 Atom Zinn ($Pb^3 Sn$) zwischen 290° C. und 280° C. eine von 1′ 36″, für die Legirung $Pb^2 Sn$ zwischen 280° und 270° eine von 1′ 6″ ꝛc. bei vermehrtem Zusatz von Zinn kommt dieser Stillstandspunct dem festen Puncte immer näher, und bei der Legirung $Pb\,Sn^3$, deren Erkaltungszeiten einen ganz regelmäßigen Gang besitzen, fällt er endlich mit ihr zusammen, bei der Legirung $Pb\,Sn^4$ blieb das Thermometer gleich unter 190° für einige Augenblicke stehen, und fiel darauf auf 187°. Bei $Pb\,Sn^6$ ist der obere Punct sichtbarer, weil das Thermometer zwischen 210° und 200° eine Zeit von 3′ 5″ gebrauchte; noch mehr ist dies der Fall bei $Pb\,Sn^{12}$, wo das Thermometer 4′ 23″ lang zwischen 220° und 210° verweilte.

Es giebt also, mit Ausnahme einer einzigen Legirung, $Pb\,Sn^3$ wie es scheint, für alle Mischungen aus Blei und Zinn zwei Puncte, wo das Thermometer stehen bleibt, einen durchaus festen bei 187°, und einen beweglichen, der desto höher liegt, je mehr sich die Mischung durch Zusatz des einen oder des andern Metalles von dem Verhältnisse $Pb\,Sn^3$ entfernt. Die Stillstandszeit des Thermometers auf dem festen Puncte wird auch, zu beiden Seiten von $Pb\,Sn^3$, in demselben Maße kürzer, als die Menge des in überschuß genommenen Metalles wächst, bis sie endlich bei den beiden einfachen Metallen = 0 wird, wo auch der bewegliche Punct mit der Erstarrungstemperatur dieser Metalle zusammenfällt.

Was die anderen Legirungen betrifft, so waren die Resultate (inclusive der vorigen) folgende. Die in der ersten Columne eingeschalteten Zahlen zeigen die Schmelzpuncte der Metalle für sich an.

| Legirungen aus | Ganz fester Punct bei | Legirung, bei welcher der obere stationäre Punct mit dem untern zusammenfällt. |
|---|---|---|
| Blei (bei 325° C.) und Zinn (bei 228° C.) | 187° C. | $PbSn^3$ |
| Zinn (bei 228° C.) u. Wismuth (bei 264° C.) | 143° C. | $Sn^3Bi^2$ |
| Zink (über 400° C.) und Zinn (228° C.) | 204° C. | $ZnSn^6$ |
| Blei (bei 325° C.) u. Wismuth (bei 264° C.) | 129° C. | $Pb^3Bi^4$ |
| Zink (über 400° C.) u. Wismuth (bei 264° C.) | 251° C. | ? *) |
| Blei, Zinn und Wismuth | ungefähr 98° C. | ? **) |

Wie bei den Legirungen aus Zinn und Blei, so fand auch bei den Legirungen aus den anderen Metallen stets ein zweiter stationärer Punct Statt, sobald entweder das Verhältniß des einen oder des andern Metalles über das in der letzten Columne der vorigen Tabelle angegebene vermehrt ward, und bei der ternären Legirung finden zwei solche bewegliche Puncte Statt.

Die Erklärung, welche Rudberg von diesem Phänomen giebt, ist folgende:

Wenn zwei Metalle in irgend einem Verhältnisse zusammengeschmolzen werden, so bildet sich immer aus dem einen Metalle und aus einem Theile des andern eine nach einfachen Atomverhältnissen zusammengesetzte Legirung (nach den in der letzten Spalte der vorigen Tabelle angegebenen Verhältnissen), welche der Verfasser chemische Legirung nennt. Die geschmolzene Masse ist nur ein Gemenge von dieser chemischen Legirung und von dem im Überschuß vorhandenen Metalle.

Hat man die Metalle in dem Verhältniß zusammengeschmolzen, daß sich gerade die chemische Legirung bildet, so wird diese bis zu ihrer Erstarrungstemperatur, welche den festen Punct ausmacht, regelmäßig erkalten. Enthält aber die Mischung eins der Metalle in Überschuß, so geht dieser Überschuß, obgleich derselbe, so lange die Masse flüssig ist, mit der chemischen Legirung mechanisch gemischt bleibt, beim Erkalten in den festen Zustand über und tritt dabei seine latente Wärme ab, wodurch das Verweilen des Thermometers auf einem Puncte, der oberhalb der Erstarrungstemperatur der Legirung liegt, verursacht wird. Es folgt auch daraus, daß dieser Übergang in den festen Zustand bei einer desto höheren Temperatur erfolgt, je größer der Überschuß des einen Metalles in der Mischung ist. Das erstarrte Metall bleibt jetzt mechanisch vertheilt in der noch fließenden Legirung, bis auch diese erstarrt und ihre latente Wärme abgiebt,

*) Die hier zu nennende Legirung scheint dem reinen Wismuth sehr nahe zu liegen.

**) Wurde nicht bestimmt.

wodurch dann das zweite und immer auf demselben Grade erfolgende Stillstehen des Thermometers hervorgebracht wird.

Eine Bestätigung der Richtigkeit dieser Ansicht findet der Verfasser noch darin, daß, wenn man die fließende Masse auf einen kalten Körper ausgießt, die Masse, wie sich beobachten läßt, nicht bis zum Erstarren vollkommen flüssig bleibt, sondern eine mehr oder weniger lange Zeit vorher, je nachdem es die Lage des beweglichen Punctes mit sich bringt, augenblicklich das Ansehen eines Mörtels annimmt, welcher sich während des Erkaltens mit immer größerer Schwierigkeit umrühren läßt. Bei der chemischen Legirung ist dies nicht der Fall.

Wie viel Wahrscheinliches jedoch auch diese Erklärungsart auf den ersten Anblick haben mag, so hat doch Erman (Pogg. XX. 282, XII. 463) auf einen Umstand aufmerksam gemacht, welcher anzuzeigen scheint, daß die Stockung in den Erkältungszeiten vielleicht mehr noch, als mit dem successiven Festwerden verschiedener Elemente der Verbindung, mit dem Eintritt von einem Maximum der Dichtigkeit zusammenhängen möchte. Derselbe beobachtete nämlich, daß auch bei dem Wasser, um den Punct seines Maximums der Dichtigkeit, eine Stockung im Erkalten eintritt, wo man doch schwerlich berechtigt ist, ein successives Festwerden zweier sich entmischender Elemente anzunehmen. Er beobachtete nämlich einst den Gang der Erkältungszeiten beim Wasser wie folgt:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| von | 6°,0 | bis | 5°,5 R. | 50″ |
| — | 5 ,5 | — | 5 ,0 | 55 |
| — | 5 ,0 | — | 4 ,5 | 50 |
| — | 4 ,5 | — | 4 ,0 | 60 |
| — | 4 ,0 | — | 3 ,5 | 65 |
| — | 3 ,5 | — | 3 ,0 | 198 |
| — | 3 ,0 | — | 2 ,5 | 60 |
| — | 2 ,5 | — | 2 ,0 | 70 |

Ferner fand derselbe, bei Versuchen mit Lösungen von salzsaurem Natron, daß bei vermehrtem Salzgehalte des Wassers das Maximum der Dichtigkeit sowohl, als die Stockung in den Erkaltungszeiten, beide vollkommen gleichmäßig, immer tiefer gegen den Gefrierpunct der Flüssigkeit herabsinken, gerade so wie der bewegliche stationäre Punct bei den Legirungen sich mit den Bestandtheilsverhältnissen ändert. Erman hält es daher für das Wahrscheinlichste, daß auch bei Rudberg's Versuchen die Phänomene der Stockung und Erkaltung vielmehr mit dem Eintritt eines Maximums der Dichtigkeit zusammen hingen, und fodert Rudberg auf, Versuche zur Prüfung hievon anzustellen.

In einer Erwiederung auf Erman's Bemerkung (Pogg. XXI. 317) gesteht Rudberg zwar zu, daß der von jenem beim Wasser beobachtete Umstand alle Aufmerksamkeit verdiene, nur sei eine Beziehung dieses merkwürdigen Stationirens des Thermometers im Wasser um den Punct des Maximums der Dichtigkeit mit dem Stationären in Legirungen am obern

beweglichen Puncte nicht wohl anzunehmen. Er fügt in diesem Bezuge noch mehrere Erörterungen hinzu, welche Erman's Ansicht nicht ganz günstig sind. Indeß scheint mir doch, daß sich die Sache nicht eher entscheiden läßt, bevor nicht durch Erfahrung über die Dichtigkeitsänderungen bei dem Stationiren der Metalle entschieden ist.

### Gesetz über die Schmelzbarkeit von Mischungen.

Osann *) glaubt das Gesetz nachgewiesen zu haben, daß die schmelzbarste Mischung zweier Stoffe die ist, wo die Stoffe im umgekehrten Verhältniß der Atomgewichte, die sich davon mit einander verbinden können, mit einander vermischt werden; indeß hat er freilich das Gesetz nur auf ziemlich indirecte Weise durch folgende wenige Data bewährt, denen der Umstand zu Grunde liegt, daß als das leichtflüssigste Gemisch dasjenige angesehen werden kann, welches als Frostmischung das Maximum der Kälte erzeugt **).

Unter verschiedenen Mischungen von Eis und Kochsalz brachte diejenige die größte Kälte hervor, welche dem Verhältniß von 1 Gewichtstheil Eis und 0,96 Theilen Kochsalz am meisten nahe kam, und unter verschiedenen Mischungen von Eis und Salmiak diejenige, welche dem Verhältniß von 5,13 Eis zu 0,87 Salmiak am nächsten kam. Es verhält sich aber das Gewicht von 6 Atomen Wasser zu 1 Atom Kochsalz ***) wie 0,96 zu 1, und das Gewicht von 1 Atom Salmiak zu 1 Atom Wasser wie 5,13 zu 0,87. Zur Unterstützung führt Osann noch die Erfahrung an, daß von zwei Mischungen aus kohlensaurem Kali mit (wasserfreiem) kohlensaurem Natron, deren eine im Verhältniß ihrer Atomgewichte, die andere im umgekehrten Verhältniß dieser Gewichte gemacht war, die letztere bei gleichem Feuer eher schmolz als die erstere.

---

## V. Über latente und specifische Wärme.

---

### Methoden zur Bestimmung der latenten Wärme beim Erstarren geschmolzener Körper.

Unter latenter Wärme versteht man bekanntlich die Quantität Wärme, welche die Gewichtseinheit eines Körpers bei Veränderungen des Aggregatzustandes, also beim Übergange aus dem gasförmigen in den tropf-

*) Kastn. N. Arch. I. 101.

**) Da nämlich die Erkältung durch Verflüssigung des Gemisches entsteht, so muß eine gute Frostmischung eine solche sein, welche bei einer sehr niedern Temperatur flüssig zu werden vermag.

***) Fuchs hat gezeigt, daß eine krystallisirbare Verbindung zwischen Wasser und Kochsalz in diesem Verhältniß besteht.

baren, oder aus dem tropfbaren in den festen Zustand entwickelt, oder beim Übergange in umgekehrter Richtung verschluckt. Black suchte diese Wärme bei fließendem Zinn und Wachs dadurch zu bestimmen, daß er diese geschmolzenen Körper in Wasser goß und aus dem Temperaturmaximum, welches das Wasser hiebei erlangte, auf die latente Wärme, welche Wachs und Zinn beim Festwerden abgegeben hätten, schloß; allein dies Verfahren ist, abgesehen von anderen Ursachen der Unzuverlässigkeit, die es darbietet, schon dadurch ganz unstatthaft, daß man nie sicher sein kann, der schmelzende Körper habe beim Eingießen in das Wasser gerade die Temperatur des Erstarrens. Er wird vielmehr im Allgemeinen stets eine höhere Temperatur haben, so daß das Wasser nicht bloß durch Wirkung der latenten Wärme, welche beim Erstarren frei wird, sondern auch durch Wirkung der Wärme, welche der Körper abgiebt, um zu seinem Erstarrungspuncte herabzukommen, erwärmt wird. In der That lehrt die Vergleichung der Resultate, die Black durch sein Verfahren für Zinn erhielt, mit denen durch eine bessere Methode von Rudberg gefundenen Resultaten, daß er die latente Wärme desselben ungefähr 13 Mal so groß gefunden hat, als sie wirklich ist.

Die Methode, die Rudberg *) anwendet, beruht auf Folgendem:

Man vergleicht die Erkaltungszeit des Metalles für die 10 Grade, zwischen welchen es erstarrt, mit der Zeit, welche Quecksilber unter denselben Umständen zu seiner Erkaltung um dieselben 10 Grade braucht. Da alle äußeren Umstände, so wie auch die Temperaturdifferenzen, bei der Erkaltung gleich sind, so müssen sich die Wärmeverluste des Quecksilbers und des andern Metalles gerade wie die erwähnten Zeiten verhalten, wenn man gewisse kleine Einflüsse nicht berücksichtigt. Da durch die Versuche von Dulong und Petit die specifische Wärme des Quecksilbers (die Quantität Wärme, welche es verliert, z. B. um 1° C. zu erkalten), sowohl für niedere, als für höhere Temperaturen bekannt ist, so kann der Wärmeverlust dieses Metalles berechnet werden, folglich auch der Wärmeverlust des andern Metalles, der theils in latenter Wärme besteht, theils von der Erkaltung um die 10 Grade herrührt.

Der Apparat, den der Verfasser zu dieser Bestimmungsmethode anwandte, war folgender:

Ein cubisches Gefäß von dünnem Eisenblech, 8 Zoll in Seite, war in ein anderes Gefäß von 10 Zoll Höhe, 12 Zoll Breite und Höhe, so gestellt, daß seine Wände von denen des letztern überall um 2 Zoll abstanden. Der Zwischenraum dieser beiden Gefäße wurde mit Schnee gefüllt, damit der innere Raum des Würfels während der Dauer des Versuches stets auf der Temperatur 0° bliebe. Die inneren Wände des Würfels waren mit Kienruß, der mit Weingeist abgerieben worden, geschwärzt, um ihre absorbirende Kraft auf das Maximum zu bringen; das äußere Gefäß

*) Pogg. XVIII. 240; XIX. 125.

konnte durch einen in zwei Theile getheilten Deckel geschlossen werden, der oben mit Schnee bedeckt und an der untern Seite geschwärzt worden war. In der Mitte des Würfels ruhete auf einem Ringe von feinem Platindraht, der von vier an den Wänden befestigten Platindrähten getragen wurde, ein sehr dünner Tiegel von getriebenem Eisenblech. Der Deckel von Eisenblech, der diesen Tiegel dicht verschloß, hatte in der Mitte ein Loch, versehen mit einer Dille, damit ein Korkstöpsel fest eingesetzt werden konnte. Durch diesen Pfropfen ging das Rohr eines für jeden fünften Grad bis zu 350° auf dem Glase selbst getheilten Thermometers, und zwar so, daß, wenn der Deckel auf den Tiegel gesetzt war, die Kugel dieses Thermometers sich in der Mitte des Tiegels befand. Tiegel und Deckel waren überdies auswendig mit Kienruß geschwärzt, um deren Oberfläche eine stets gleiche und möglich größte strahlende Kraft zu ertheilen.

Nun wurde der in den Ring gehängte Tiegel mit dem fließenden Metalle gefüllt, sein Deckel, nachdem das in ihm befestigte Thermometer behutsam erwärmt worden, aufgesetzt, und dann die beiden Deckelhälften des großen Gefäßes dicht um das Thermometerrohr zusammengeschoben. Hierauf wurden die Erkaltungszeiten des Metalles an dem darin stehenden Thermometer von 10 zu 10 Graden mittelst einer genauen Secundenuhr beobachtet. Derselbe Versuch ward mit dem Quecksilber angestellt.

Die Berechnung gründet sich auf Folgendes:

Ist des Quecksilbers Masse = m, dessen specifische Wärme*) in der Nähe der Erstarrungstemperatur = c′, so ist dessen Wärmeverlust beim Erkalten während der in der Nähe dieser Temperatur liegenden 10 Grade = 10 m c′. Das andere Metall verliert nicht nur seine latente Wärme, sondern auch die Wärme, welche es beim Erkalten um die genannten 10 Grade abgiebt. Ist folglich dessen Masse = M, dessen latente Wärme, für die Gewichtseinheit, = L, und dessen specifische Wärme bei der Erstarrungstemperatur = c, so wird sein Wärmeverlust = M (L + 10 C.). Ist ferner die Zeit, welche zum Sinken des Thermometers um 10 Grade erfodert wird, wenn Quecksilber den Tiegel füllt, = t, und, wenn das andere Metall ihn füllt, = T, so wird:

$$M\,(L + 10\,C) : 10\,m\,c' = T : t,$$

oder, wenn man auch auf des Tiegels Wärmeverlust Rücksicht nimmt, und dessen Masse mit $\mu$, dessen specifische Wärme mit $c''$ bezeichnet:

$$M\,(L + 10\,C) + 10\,\mu\,c'' : 10\,(m\,c' + \mu\,c'') = T : t,$$

woraus:

$$L = \frac{10\,(m\,c' + \mu\,c'')\,T}{M\,t} - 10\left(C + \frac{\mu}{M}\,c''\right)$$

Diese Formel ist zwar nicht vollkommen richtig, weil, wenn der Tiegel mit Quecksilber gefüllt ist, die Temperatur während der ganzen Zeit t

*) Unter specifischer Wärme wird hier die Quantität Wärme verstanden, welche die Gewichtseinheit eines Körpers abgeben muß, um um 1° C. zu erkalten.

fortwährend sinkt, wogegen sie, wenn das andere Metall den Tiegel füllt, während des größten Theiles der Zeit T unverändert bleibt; handelt es sich aber nur um die Zeit des Erkaltens um 10 Grade, und ist der Temperaturüberschuß so hoch wie für das Zinn, nämlich 230° C, oder wie für das Blei, nämlich 330° C, so bringt ein Fehler in dieser Formel keinen großen Fehler in dem berechneten Werthe von L hervor.

Von den in die Formel eingehenden Größen sind m, M und T sehr große Zahlen, so daß ein Fehler, welcher bei den zu ihrer Bestimmung nöthigen Beobachtungen begangen wird, keinen großen Einfluß hat. Das Gegentheil findet bei der Zeit t Statt, welche höchst gering ist, und sich folglich schwer mit der erfoderlichen Schärfe bestimmen läßt. Wenn die Zeit T sich auf mehrere Hunderte von Secunden beläuft, ist t nur noch so gering, daß bei dem Werthe derselben ein Irrthum von einer halben Secunde von größerer Bedeutung ist, als ein Fehler von mehreren ganzen Secunden beim Werthe der ersten Zeit. Diese Zeitbestimmungen können nun aus zweierlei Ursachen fehlerhaft werden, einmal durch eine unrichtige Schätzung der Unterabtheilungen der Secunde an der angewandten Secundenuhr, und dann besonders dadurch, daß man nicht den rechten Augenblick beobachtet, wenn die Quecksilbersäule in dem Thermometer durch den mit Diamant auf der Glasröhre gezogenen Gradstrich geht. Da es schwierig ist, bei dem beständigen Fallen des Thermometers eine Parallaxe beim Ablesen zu vermeiden, so erfodert es besondere Sorgfalt, nicht in den letzten Fehler zu verfallen.

Rudberg hat nach dieser Methode die latente Wärme des Bleies und Zinnes bestimmt, indem er jedoch die letzte Fehlerquelle nicht genau vermieden zu haben glaubt (was er bei zu wiederholenden Versuchen zu thun beabsichtigt), erinnert er, daß die erhaltenen numerischen Werthe möglicherweise um ein paar Einheiten in der ersten Decimale verschieden sein können.

Erman*) schlägt statt des vorigen ein Verfahren vor, bei welchem man bloß nöthig hat, die Nähe der Erkaltungszeiten eines Metalles für sich der Berechnung zu Grunde zu legen. Diese Berechnung gründet sich auf Folgendes:

Wenn man aus den Erkaltungsintervallen vor und nach dem Eintreten der, durch das Festwerden im Erkalten bewirkten, Stockung durch eine einfache Interpolation die logarithmische Reihe so ergänzt, wie sie ohne Existenz der latenten Wärme hätte gehen sollen, so giebt der Überschuß des, in der Nähe des Schmelzpunctes beobachteten, Stationirens über das berechnete, das directe Maß des frei gewordenen Wärmestoffes.

Und zwar: wenn (s) die Temperatur des Schmelzpunctes,

F (s) die, bei dieser Temperatur, unter den Umständen des Versuches zu 1° Temperaturerniedrigung nöthige Zeit,

*) Pogg. XX. 282.

T die Dauer des anomalen Stationirens beim Schmelzpuncte, und
K die specifische Wärme des zu untersuchenden Körpers in Bezug auf dieselbe Einheit, auf welche man die latente Wärme beziehen will,

bezeichnen, so wird die latente Wärme l:

$$l = \frac{c.T}{F(s).K}.$$

Wo F (s) der Form nach durch die allgemeinen Gesetze der Erkaltung, ihren Constanten nach aber durch die vor und nach dem Festwerden beobachteten Theile der Erkaltungsreihe gegeben ist.

Diese einfache Relation gilt indeß nur dann, wenn die ganze der Beobachtung unterworfene Masse vom Gewicht p: 1) klein genug ist, daß man den Einfluß der Leitungsfähigkeit auf den Versuch vernachlässigen könne, und

2) ausschließlich aus der zu untersuchenden Substanz besteht. — Ist, wie es immer der Fall sein wird, diese Substanz noch in eine Hülle eingeschlossen, deren Gewicht p' und specifische Wärme k' ist, so erhält man:

$$l = \frac{T}{F(s)}\left(\frac{p + p'k'}{pK + p'K'}\right)$$

Im Original ist ein Beispiel dieser Berechnungsart beigefügt.

Übrigens macht doch Rudberg*) gegen das Verfahren Erman's mehrere Einwendungen, die mir von Gewicht zu sein scheinen. Einerseits nämlich kennt man den zur Berechnung erfoderlichen Werth von K für die meisten Metalle nicht; andererseits scheint es darum nicht statthaft, die Constanten der Function F (s) mittelst der vor und nach der Erstarrung beobachteten Erkaltungszeiten zu berechnen, weil die Änderung des Aggregatzustandes bei der Erstarrung unstreitig bewirkt, daß die Erkaltung nach der Erstarrung nicht eine regelmäßige Fortsetzung der Erkaltung vor dem Erstarren, die nur durch das Erstarren selbst unterbrochen wurde, ist, sondern schon wegen der Volumenänderung, die bei der Erstarrung eintritt, die Erkaltungszeiten auf andere Art nach als vor dem Erstarren fortschreiten müssen. In der That fand auch Rudberg die latente Wärme des Zinnes nach Erman's Verfahren berechnet = 12 statt 13,3, wie ihm sein Verfahren gegeben hatte, welchen letzteren Werth er nicht um eine ganze Einheit unsicher hält.

## Latente Wärme einiger Metalle.

Mittelst des S. 468 beschriebenen Verfahrens hat Rudberg folgende Werthe für die latente Wärme des Bleies und Zinnes gefunden, die wir hier zugleich mit der schon früher bekannten des Wassers zusammenstellen**).

*) Pogg. XXI. 241.

**) Bei der Berechnung der Beobachtungen wurde die specifische Wärme des Zinnes in der Nähe seiner Erstarrungstemperatur = 0,0586, die des Bleies

| | Absolute latente Wärme. | Relative latente Wärme. |
|---|---|---|
| Wasser | 75,000 | 1,000 |
| Zinn | 13,314 | 0,1775 |
| Blei | 5,858 | 0,0781* |

Diese Angaben sind so zu verstehen:

Ein Gewichtstheil flüssigen Zinnes entbindet im Erstarren so viel Wärme, als erfoderlich ist, um 13,314 Gewichtstheile Wasser in ihrer Temperatur von 0° auf 1° C. zu bringen.

1 Gewichtstheil flüssigen Bleies entbindet beim Erstarren so viel Wärme, um 5,858 Gewichtstheile Wasser in ihrer Temperatur von 0° auf 1° C. zu bringen.

Es ist jedoch zu bemerken, daß diese Resultate nach Rudberg's eigener Bemerkung nur als annähernd gelten können und vielleicht um einige Einheiten in der ersten Decimale von den wahren abweichen (wahrscheinlich sind sie etwas zu groß), wegen einer nicht ganz vermiedenen Fehlerquelle (vergl. S. 470), die jedoch der Verfasser bei künftigen Versuchen zu beseitigen hofft. Jedenfalls verdienen sie unendlich mehr Vertrauen, als das Resultat Black's, welcher für Zinn statt 13,314 gefunden hatte 277,77, mithin ungefähr den 20fachen Werth des von Rudberg erhaltenen. Wir haben schon von der Unzuverlässigkeit des Black'schen Verfahrens gesprochen (S. 459).

### Über die beim Verbrennen der Körper frei werdende Wärme.

Die Wärme, welche ein Körper bei der Verbrennung entwickelt, muß nach unseren jetzigen Ansichten als aus zwei Theilen zusammengesetzt betrachtet werden: 1) der, welche durch den Act der chemischen Verbindung selbst hervorgebracht wird, 2) der, welche unabhängig hievon durch die Verdichtung des Sauerstoffgases entsteht; und man hätte hienach vorauszusetzen, daß, in je verdichteterm Zustande das Sauerstoffgas dem brennbaren Körper schon dargeboten wird, um so weniger wird die bei der Verbrennung entwickelte Wärme betragen, weil die Verdichtung dann zum Theil schon vor der Verbrennung vollbracht ist, mithin der zweite Theil der Wärmeentwickelung bei der Verbrennung selbst geschwächt sein wird. In der That führt Despretz*) diesen Umstand als ein Mittel an, die bei der Verdichtung von Sauerstoffgas entwickelte Wärme zu messen, indem man nämlich die Wärme vergleichen soll, die bei Verbrennung eines Kör-

— 0,0352 angenommen, nach der Voraussetzung, daß sie von niederen zu höheren Temperaturen eben so wachse, als die des Quecksilbers. Sie ist nämlich bei jenen beiden Metallen bis jetzt nur für niedere Temperaturen genau bestimmt worden.

*) Pogg. XII. 520.

pers in verschieden verdichtetem Sauerstoffgase entwickelt wird. Mit Recht jedoch erinnert Dulong *), daß dieses Verfahren zu keinem Resultate führen könne. In der That beträgt die Wärme, welche durch eine, die Dichte des Sauerstoffgases verdoppelnde Compression entwickelt wird, noch nicht ½ Hunderttheil von der bei Verbindung dieses Gases zum Wasser mit Kohle erzeugten Wärme, d. i. von der Menge, welche man durch das von Despretz vorgeschlagene Verfahren unmittelbar mißt, so daß die Unterschiede, die man beobachten wollte, in die Gränzen der Beobachtungsfehler fallen würden.

## Wärme, welche durch Compression oder Dilatation der Metalle frei oder verschluckt wird **).

Durch seine Versuche und Berechnungen nach den Th. I. S. 79 angeführten Formeln hat Weber ausgemittelt, daß die Temperatur bei folgenden Metallen um 100° C. steigt oder fällt, wenn

Eisen um $\frac{1}{18}$,
Kupfer um $\frac{1}{16}$,
Silber um $\frac{1}{10}$,
Platin um $\frac{1}{67}$

seines Volumens comprimirt oder dilatirt wird.

## Über die Mischungsmethode, zur Bestimmung der specifischen Wärme, von Neumann ***).

Neumann hat diese Methode, die bekanntlich nur unter besonderen Vorsichtsmaßregeln und mit Zuziehung besonderer Correctionen zuverlässige Resultate gewähren kann, in folgender Art ausgeführt. Sie ist hier in Bezug auf die Vergleichung der specifischen Wärme des kalten Wassers mit der des heißen Wassers beschrieben; indeß wird man ohne besondere Erörterungen einsehen, daß sie sich eben so zur Vergleichung der specifischen Wärme verschiedener Flüssigkeiten unter einander, ja selbst fester mit flüssigen Körpern anwenden lassen wird, wofern man nur in letzterm Falle am Apparate diejenigen Veränderungen anbringt, welche erfoderlich sind, um feste Körper aus dem trocknen Raume, der durch die umgebenden siedendheißen Wasserdämpfe in einer constanten hohen Temperatur erhalten wird, unmittelbar in das Abkühlungswasser fallen zu lassen.

Das Hauptstück des Apparates bestand in einer Vorrichtung (Fig. 96.), um das heiße Wasser mit einer hinlänglich sicher bekannten Temperatur in das kalte Wasser zu bringen. Ein cylindrisches Gefäß von Weißblech A befand sich in einem zweiten solchen Gefäße B; in den Zwischenraum beider Gefäße traten durch die Röhre D die Dämpfe des im Gefäße C sieden-

*) Pogg. XVI. 463.
**) Pogg. XX. 208.
***) Pogg. XXIII. 40.

den Wassers; diese traten durch die Röhre E wieder heraus, nachdem sich hier ein Stanniolblättchen aufgehoben hatte. Dieser Dampf diente dazu, das Wasser, dessen specifische Wärme untersucht werden sollte, und das in dem ersten Gefäß A sich befand, zu erwärmen. Das Gefäß A war oben offen, und wurde hier durch einen Pfropfen F verschlossen, um die Verdampfung des Wassers in ihm an der Oberfläche geringer zu machen. Durch diesen Pfropfen ging ein starker Messingdraht, die Handhabe des in den kleinen Messingröhre G konisch eingeschliffenen Zapfens K. Die Röhre G sowohl als der Zapfen K waren so durchbohrt, daß durch Drehung der Handhabe H die Öffnung dieser Röhre geöffnet und verschlossen werden konnte.

Das Wasser in A nimmt, in Übereinstimmung mit der Theorie, eine constante Temperatur an, die nur wenig verschieden ist von der Temperatur des Wasserdampfes, der, durch den Zwischenraum der Gefäße A, B streichend, durch E in die Luft tritt*). Sobald das Wasser in C lange genug gekocht hatte, daß diese constante Temperatur erreicht war, wurde der Apparat so gestellt, daß die Öffnung der Röhre G sich über dem Gefäße befand, in welchem das kalte Wasser enthalten war, mit welchem das in A befindliche gemischt werden sollte. Dies Gefäß bestand aus Kupfer und sein Gewicht betrug 1513,4 Grammen. Es wurde mittelst eines Bleches, das an einem Drahte befestigt war, fleißig vor und während der Mischung umgerührt, um mittelst des darin befindlichen Thermometers die wahre mittlere Temperatur dieses Wassers zu erhalten. Das Gewicht dieses Messingbleches mit dem Drahte betrug 148,8 Gramm.; von dem Drahte waren nach der Mischung des kalten und heißen Wassers nicht vom Wasser berührt 16 Grammen. Zu der Quantität des kalten Wassers, das durch das heiße erwärmt wurde, sind also 1513,4 $S_k$ + 140 $S_m$ zu addiren, wo $S_k$ und $S_m$ die specifische Wärme des Kupfers und des Messinges bezeichnen; und wo für den nicht vom Wasser berührten Theil des Drahtes angenommen ist, daß er halb so viel Wärme erhält, als der vom Wasser berührte Theil desselben, eine Annahme, die nur annäherungsweise richtig ist, aber ohne allen merklichen Einfluß bleibt**).

Das Thermometer (M) zur Bestimmung der Temperatur des kalten Wassers und der der Mischung hatte die Einrichtung, daß die Glasröhre neben der Scale sich befand; auf der Scale bewegte sich ein Schieber, an

*) Um diesen Unterschied in Rechnung zu bringen, zog der Verfasser von der Temperatur des Siedepunctes für den bestehenden Luftdruck 0,168° R. ab, und nahm den so verminderten Siedepunct als die Temperatur des Wassers in A an, was sich ihm nach vorläufigen, mittelst eines Thermometers J (Fig. [illegible]) angestellten, Versuchen als merklich zulässig ergeben hatte.

**) Nach Dulong ist $S_k$ = 0,094, und für Messing nahm der Verfasser $S_k$ = 0,093, weil die specifische Wärme des Zinkes nach Dulong 0,093 beträgt. Danach wird jene zur Quantität des kalten Wassers zu addirende Größe 155,2. —

welchem sich ein Mikroskop zur Beobachtung der Quecksilberhöhe und ein zu der, auf der Scale befindlichen, Theilung gehöriger Nonius befand. Die Thermometergrade, die sich hienach bis auf 0,01 richtig beobachten ließen, wurden noch in Bezug auf die Calibrirung der Röhre corrigirt.

Das kalte Wasser wurde zu jedem Versuche in das Gefäß eingewogen und seine Temperatur mit dem Thermometer (M) beobachtet; diese war nur wenig verschieden von der Temperatur der Stube, und deshalb wurde zugleich die der beobachteten Temperatur zugehörige Zeit mittelst einer Secundenuhr beobachtet. Einige solche Beobachtungen genügten, um die Temperatur dieses Wassers für den Augenblick zu finden, wo die Mischung mit dem warmen Wasser vorgenommen wurde. Diese Mischung geschah dadurch, daß durch Umdrehen des Zapfens K in dem cylindrischen Gefäße A, welches sich schon während der vorhergehenden Beobachtung senkrecht über dem kalten Wasser befand, dieses Gefäß A, nachdem das darin befindliche Wasser seine constante Temperatur angenommen hatte, geöffnet wurde; nachdem eine geeignete Menge Wasser herausgeflossen, wurde es wieder geschlossen und zur Seite geschoben.

Die durch die Beobachtungen gegebenen Größen, welche bei der Berechnung zuzuziehen sind, sind nun folgende:

A Gewicht des heißen Wassers im Gefäße A;

Q Gewicht des kalten Wassers, mit Hinzufügung eines solchen Gewichtes Wasser, als die Wärmecapacität des kupfernen Gefäßes und Messingbleches nebst Draht repräsentirt (vgl. S. 474);

B die Temperatur des kalten Wassers;

x die Temperatur des heißen Wassers im Gefäße A;

C die höchste Temperatur, welche die Mischung nach Anzeige des Thermometers (M) erlangt;

v der Wärmverlust, den das Wasser während des Einfließens erleidet, und der auf unten anzugebende Weise bestimmt wird *);

*) Wenn der horizontale Durchschnitt des Gefäßes, worin sich das kalte Wasser befindet, groß ist, so wird sein Niveau nach der Mischung sich nur wenig erhöhen, und dann kann die Öffnung G des Gefäßes A der Oberfläche näher gebracht werden, wodurch der Verlust v sehr klein werden kann. Wenn er sich jedoch nicht vernachlässigen läßt, so muß man ihn annäherungsweise dadurch zu bestimmen suchen, daß man mehrere Beobachtungsreihen mit verschiedener Entfernung der Öffnung G von der Oberfläche des kalten Wassers anstellt, und, indem man v als Unbekannte in der obigen Formel betrachtet, durch Combination der Beobachtungen nach dieser Formel zugleich das Verhältniß $\frac{S''}{S'}$ und v bestimmt. Zu diesem Zwecke setzt man für die einzelnen Beobachtungen den Werth v der Höhe, durch welche das Wasser zu fallen hat, proportional, was, wenn auch nicht genau, doch für kleine Höhen nicht sehr von der Wahrheit abweichend sein kann. Als Fallhöhe muß das Mittel aus der Höhe der Öffnung G über der Oberfläche des kalten Wassers vor und nach dem Versuch (wo sich das Niveau durch das hinzugekommene Wasser erhöht hat) betrachtet werden.

w der Wärmeverlust, den die Mischung in der Zeit erleidet, welche vom Augenblicke der Mischung an bis zu dem Augenblicke, wo das Temperaturmaximum beobachtet wird, verfließt *).

Sind diese Größen bestimmt worden, so findet man, wenn $S'$, $S''$ die specifische Wärme des kalten und heißen Wassers bedeuten, das gesuchte Verhältniß $\frac{S''}{S'}$ beider nach folgender Formel:

$$S'' A (x - C - w - v) = S' Q (C - B + w).$$

In der Originalabhandlung findet man Versuche, welche als Beispiele zu diesem Verfahren gelten können.

## Vorschlag zu einer neuen Bestimmungsmethode der specifischen Wärme fester Körper.

Neumann **) macht auf eine Methode zur Bestimmung der specifischen Wärme fester Körper aufmerksam, welche gewissermaßen das Gegenstück der Methode des Eiscalorimeters ist. In letzterm wird die specifische Wärme durch die Menge des flüssig gewordenen Eises bestimmt, umgekehrt wird in der von Neumann angedeuteten Methode die specifische Wärme einer Substanz nach der Quantität Wasserdampf bestimmt, die sich an ihr aus Dampf von einer gewissen Temperatur niederschlägt.

Der Verfasser bemerkt indeß, vorläufige Versuche, welche er über die Anwendbarkeit dieser Methode angestellt, hätten ihm noch einige Zweifel darüber gelassen, abhängig von dem Umstande, daß der Niederschlag an einer messingenen Kugel, oder vielmehr die Bildung von Wassertropfen am niedrigsten Theile der Kugel in einem Kasten, der mit siedend heißen Wasserdämpfen gefüllt war, auch nach sehr langer Zeit nicht vollkommen aufhörten.

Diesen anomalen Umstand glaubt der Verfasser nur auf eine von folgenden zwei Arten erklären zu können: 1) entweder erreichte die Kugel in dem Raume, der eine constante Temperatur hatte, nicht dieselbe Temperatur, weil sie durch ein Glasfenster, welches in den Wänden des Kastens angebracht war, immer einen Theil ihrer Wärme durch Stralung verlor; oder 2) es findet ein Niederschlag an der Kugel Statt, der nicht von einer niedrigern Temperatur derselben herrührt, sondern auf einer andern Einwirkung der messingenen Kugel auf den Wasserdampf beruht.

*) Die Bestimmung dieses Verlustes w geschieht so, daß man zusieht, um wie viel nach eingetretenem Maximum die Mischung in einer gewissen Zeit erkaltet, und hieraus rückschließt, wie viel von der Zeit der Mischung bis zu der Zeit des beobachteten Maximums das Erkalten betragen hat, wobei die bekannte Erkaltungsformel zu Grunde zu legen ist.

**) Pogg. XXIII. 7.

**Methode, die specifische Wärme der festen Körper bei constantem Volumen zu bestimmen, von Weber *).**

Diese Methode beruht auf dem Th. I. S. 67 erörterten Verfahren, Drähte plötzlich zu verlängern oder zu verkürzen, sie in diesem verlängerten oder verkürzten Zustande zu fixiren und die Spannungsänderungen zu messen, die sie vermöge ihrer freiwilligen Temperaturänderungen erfahren. Es wird dann, zufolge der Verknüpfung, die zwischen den Datis, die man so erhält, und der specifischen Wärme der festen Körper Statt findet, folgende Gleichung zur Bestimmung der specifischen Wärme der festen Körper bei constantem Volumen, die bei constantem Druck als bekannt vorausgesetzt, führen:

$$\beta' = \beta \left(1 - \frac{3k't}{r + \frac{1}{2}k't}\right)$$

In dieser Gleichung ist $\beta'$ die specifische Wärme bei constantem Volumen, $\beta$ die specifische Wärme bei constantem Druck, $k'$ der Ausdehnungscoefficient des Drahtes für 1° Temperaturerhöhung in Theilen der Länge des Drahtes ausgedrückt; r wird durch die Gleichung Th. I. S. 72 bestimmt, wo dann t aus der Gleichung wegfällt.

Weber hat nach dieser Methode den Werth von $\beta'$ für Eisen, Kupfer, Silber und Platin bestimmt, wie weiterhin angegeben werden wird.

**Specifische Wärme der Metalle.**

**Von Blei und Rose'schem Metalle, nach Rose.**

Mittelst eines, dem von Dulong und Petit genau nachgeahmten, Apparates fand Rose **) das Verhältniß der specifischen Wärme
von Zinn : Blei = 55212 : 30173,
von Zinn : Rose'schem Metall = 55212 : 34329.

Nimmt man daher die specifische Wärme des Zinnes mit Dulong und Petit zu 0,0513 an, so ist die des Bleies = 0,0295, die des Rose'schen Metalles = 0,0338.

**Verschiedener Metalle von Potter.**

Potter ***) hat die specifische Wärme mehrerer Metalle mittelst der Mischungsmethode aufs Neue untersucht. Um die Unsicherheit, die man dieser Methode mit so großem Rechte vorwirft, zu beseitigen, wandte er diese Methode auf eine doppelte Weise an, indem er einmal das auf den Siedepunct des Wassers erhitzte Metall mit dem kalten Wasser, das anderemal das kalte Metall mit dem erhitzten Wasser zusammenbrachte und das Resultat nur dann für brauchbar hielt, wenn beide Methoden ein nahe übereinstimmendes Ergebniß lieferten. Nach mehreren

*) Pogg. XX. 210.
**) Pogg. XX. 289.
***) Brewster's Edinb. J. of sc. 1831. July. p. 75 (Dingler's polyt. J. XLII. 119); 1832. Jan. p. 166; vergl. dabei Johnston's und Potter's Discussionen ebend. 1831. Oct. p. 265; 1832. Jan. p. 163.

vergeblichen Versuchen es hiezu zu bringen, glückte ihm dies dadurch, daß er das Metall mit dem Wasser in einem zusammengesetzten Gefäße mengte, bestehend aus einem innern Gefäße von dünner Wachsleinwand, umgeben von einem dichten Friestuche, die beide in einem irdenen Gefäße, welches gerade groß genug war, um sie aufzunehmen, enthalten waren *). Mit diesem Gefäße, welches ungefähr 850 Gran Wasser zu fassen vermochte, operirte er nach der ersten Weise ohne weitere Vorsichtsmaßregel, als möglichst schnelle Anstellung des Versuches; dagegen er es, um nach der zweiten Weise ein hiermit übereinstimmendes Resultat zu erhalten, nöthig fand, das zusammengesetzte Gefäß mit Wasser von nahe derselben Temperatur, als mit welchem er experimentirte, zu umgeben, und zugleich die Verdampfung von der Oberfläche des Wassers im Gefäße durch einen Deckel aus Wachsleinwand mit wollenem Zeuche überzogen zu verhüten.

Die Erhitzung des Metalles und Übertragung in das kalte Wasser geschah so, daß das Metallstück oder die Metallstücke, welche dem Versuche unterworfen wurden, in kochendes Wasser gebracht, dann zugleich mit dem kochenden Wasser auf ein Haarsieb geschüttet wurden, um das Wasser ablaufen zu lassen, und nun durch möglichst schnelles Umkehren des Siebes in das kalte Wasser fallen gelassen wurden, eine Methode, die mir allerdings ziemlich schlecht zu sein scheint, indem theils der Verfasser selbst erwähnt, daß diese Übertragung wenigstens $\frac{1}{2}$ Secunde Zeit erfoderte, während welcher ein Wärmeverlust Statt finden mußte, theils doch nothwendig heißes Wasser am Metall adhärirend bleiben und in das kalte Wasser mit übergeführt werden mußte, Umstände, die ich nicht in Rechnung gebracht finde.

Die meisten Metalle, welche der Verfasser zu seinen Versuchen anwandte, hatten die Gestalt runder Scheiben von ungefähr $2\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser und $\frac{2}{10}$ bis $\frac{12}{20}$ Zoll Dicke. Das angewandte Gewicht des Metalles betrug in der Regel 4000 bis 5000 Gran und das angewandte Gewicht des Wassers $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{2}$ dieses Gewichtes. Folgendes sind die Resultate seiner Versuche **).

*) Diese Beschreibung, die ich nicht recht verstehe, lautet im Original folgendermaßen: My later experiments have been made with a compound vessel, consisting of a inner vessel of thin varnished linen surrounded by a close and friezed woollen cloth, and both these fixed in an earthen-ware one, of a dimension just sufficient to admit them. Wahrscheinlich ist gemeint: Er bediente sich eines irdenen Gefäßes, welches mit einer doppelten Lage, einer äußern von Fries, einer innern von Wolle ausgekleidet war, damit die schlechte Wärmeleitung dieser Substanzen den Verlust an Wärme verhinderte.

**) Die in der ersten seiner Abhandlungen angeführten Resultate, denen der Verfasser selbst die der letzteren, durch mit mehr Umsicht angestellte Versuche erhaltenen, vorzieht, übergehe ich. — Die oben angeführten Zahlen sind die mittleren aus den in des Verfassers zweiter Abhandlung angeführten speciellen Datis (mit Berücksichtigung der Zahl der Versuche genommen). In der Originalabhandlung ist eine Tabelle mittlerer Resultate gegeben, bei denen die Zahlen ein we-

| Name des Metalles. | Specifische Wärme nach der ersten Methode, durch Eintauchen des Metalles von 100° C. in Wasser von ungefähr 10° C. | Specifische Wärme nach der zweiten Methode, durch Eintauchen des Metalles von ungefähr 7° C. in Wasser von ungefähr 43° C. |
|---|---|---|
| Eisen, aus der Schmiede . | 0,1131 | |
| Kupfer . . . . . . . . . . . | 0,0944 | |
| Zink . . . . . . . . . . . . | 0,0928 | |
| Silber (gemünztes)*) . . . | 0,0603 | 0,0618 |
| Zinn . . . . . . . . . . . . | 0,0548 | 0,0550 |
| Antimon . . . . . . . . . . | 0,0512 | |
| Gold (gemünztes) *) . . . . | 0,0393 | 0,0381 |
| Wismuth . . . . . . . . . . | 0,0322 | 0,0326 |
| Quecksilber (für Barometer gereinigt) . . . . . . . | 0,0332 | |

Für Blei führt der Verfasser die Zahl 0,032 an, es ist aber nicht mitgetheilt, ob das Resultat nach der ersten oder zweiten Methode gefunden ward. Übrigens stimmen die Zahlen des Verfassers größtentheils ziemlich genau mit denen von Dulong und Petit überein.

Von Zink nach Neumann.

Neumann fand die specifische Wärme des Zinkes = 0,0929 (Pogg. XXIII. 37).

Von Eisen und Platin nach Schwartz.

Leonhard Schwartz **) hat in Verbindung mit Köchlin mittelst der Methode des Eintauchens einige Versuche über die specifische Wärme des Eisens und Platins angestellt; doch wird nichts über die Maßregeln angegeben, die bei diesen Versuchen allein die Genauigkeit der Resultate sicher stellen können. Die Resultate werden folgendergestalt angegeben:

Bei Versuchen mit Gußeisen fand der Verfasser, daß, wenn man ein Stück dieses Metalles von bestimmter Temperatur in gleich viel Wasser von niederer Temperatur taucht, jeder Grad, um welchen die Temperatur des Wassers sich erhöht, 10° entspricht, um welche das Eisen vor Anstellung des Versuchs wärmer war. Gußeisen von 100° wird hienach die Temperatur einer gleich großen Wassermasse von 10° auf 19° erhöhen, so daß die Temperaturzunahme des Wassers um 9° den 90° entspricht, um welche das Eisen wärmer als das Wasser war. — Dies Resultat stimmt ziemlich

nig von den obigen abweichen; allein ich sehe nicht, wie sie aus des Verfassers Versuchen folgen.

*) Nach Johnston enthält das englische gemünzte Silber 7,5 Procent Kupfer und das englische gemünzte Gold $\frac{1}{12}$ Silber.

**) Erdmann's J. II. 341.

mit Dulong und Petit's Resultaten überein, zufolge deren die specifische Wärme des Wassers 10,9 Mal größer als die des Eises ist. Desto mehr aber weicht das Resultat, was die Verfasser über die specifische Wärme des Platins im Verhältniß zu der des Quecksilbers erhielten, von der Angabe anderer Beobachter ab. Ihre Angaben darüber sind folgende:

Ein Platinwürfel 93 Gran schwer wurde zu 40° (C.?) erhitzt und in 1116 Gran Quecksilber von 20° getaucht. Das Thermometer gab eine Temperaturerhöhung von 1° an (das Gewicht des Quecksilbers im Thermometer ist in jenen 1116 Gran mit eingeschlossen). — Das Platin zu 60° erwärmt und in das Quecksilber von 20° getaucht, erhöhete dessen Temperatur um 2°; überhaupt wurden folgende Resultate (einschließlich der vorigen) erhalten:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| zu 40° | erwärmt | erhöhete | es | die | Temperatur | um 1° |
| 60° | — | — | — | — | — | — 2° |
| 80° | — | — | — | — | — | — 3° |
| 100° | — | — | — | — | — | — 4° |
| 120° | — | — | — | — | — | — 5° |

Diese Versuche würden die specifische Wärme des Quecksilbers 1,58 Mal so groß als die des Platins geben, während nach den Versuchen von Dulong und Petit (Biot V. 332) die specifische Wärme des Platins ein wenig größer als die des Quecksilbers ist. Wie es jedoch scheint, war das von Schwartz angewandte Quecksilber nicht rein; denn es findet sich, eben in Bezug auf die Differenz der Resultate von denen Dulong's und Petit's, zum Schlusse angegeben. „Die Verfasser haben sich deshalb auch vorgenommen, Versuche mit gereinigtem Quecksilber und mit Platin von 20 bis 21 specifischem Gewicht anzustellen."

## Specifische Wärme der Metalle unter constantem Volumen, von Weber *).

Weber hat mittelst seiner Versuche nach der S. 477 erörterten Methode folgende Werthe für die specifische Wärme folgender Metalle bei constantem Volumen gefunden:

Eisen = 0,1026
Kupfer = 0,0872
Silber = 0,0525
Platin = 0,0259

Hiebei sind folgende Bestimmungen Dulong's für die specifische Wärme bei constantem Drucke zu Grunde gelegt:

Eisen = 0,1100
Kupfer = 0,0949
Silber = 0,0557
Platin = 0,0314

und die des Wassers = 1 angenommen.

*) Pogg. XX. 211.

## Specifische Wärme verschiedener Mineralien.

Neumann *) hat durch eine sehr sorgfältig ausgeführte Methode der Mischungen (vgl. S. 473) folgende Resultate über die specifische Wärme nachstehender Mineralien (zwischen 0° und 100° C.) erhalten, wobei die specifische Wärme des Wassers = 1 gesetzt ist. Es ist bei dieser Bestimmung eine Correction (wegen der Leitungsfähigkeit der Substanzen) vernachlässigt worden, die jedoch nach des Verfassers Schätzung höchstens 0,001 betragen wird.

Es wurden im Allgemeinen für jede Substanz mehrere Versuche angestellt, wovon in Folgendem bloß die Mittel mitgetheilt sind:

| | |
|---|---|
| Adular (Gotthardt) | 0,1861 |
| Albit (Penig) | 0,1961 |
| Feldspath (Lomnitz) | 0,1911 |
| Labrador | 0,1926 |
| Kalkspath | 0,2046 |
| Witherit | 0,1078 |
| Weiß-Bleierz | 0,0814 |
| Bleivitriol | 0,0848 |
| Grauspießglanz | 0,0907 |
| Quarz | 0,1883 |
| Eisenglanz (Elba) | 0,1692 |
| Zinnstein | 0,0931 |
| Zinkmetall | 0,0920 |
| Kohlensaurer Strontian | 0,1445 |
| Rauschgelb (Persien) | 0,1132 |
| Realgar (käufliches) | 0,1111 |
| Rutil | 0,1724 |
| Topas | 0,2019 |
| Hornblende (Basalt. Böhm.) | 0,1976 |
| Hornblende (Freiberg) | 0,1958 |
| Strahlstein | 0,2046 |
| Tremolith | 0,2070 |
| Zoisit (Fichtelgebirge) | 0,1940 |
| Augit (Basalt. Böhm.) | 0,1938 |
| Diopsid (Tyrol) | 0,1906 |
| Arragonit (Freiberg) | 0,2018 |
| Cölestin (Nordamerika) | 0,1356 |
| Kupferkies | 0,1289 |
| Iserin (Iserwiese) | 0,1763 |
| Schwerspath | 0,1088 |
| Flußspath | 0,2082 |
| Gyps | 0,2728 |

*) Pogg. XXIII. 1.

| | |
|---|---|
| Uranpecherz (Sachsen) | 0,1028 |
| Korn. Zinnerz (Mexico) | 0,0965 |
| Magneteisen | 0,1641 |
| Chrysolith | 0,2056 |
| Glanzkobalt | 0,1070 |
| Magnetkies | 0,1067 |
| Speiskobalt | 0,0920 |
| Rothkupfererz | 0,1073 |
| Corund | 0,1942 |
| Blende | 0,1144 |
| Schwefelkies | 0,1256 |
| Parat. Kalk (Steiermark) | 0,1963 |
| Grauspießglanz (Felsöbanya) | 0,0877 |
| Saphir (Geschiebe) | 0,1972 |
| Fahlkies | 0,1282 |

Die specifische Wärme noch von einigen anderen zusammengesetzten Körpern, die hier nicht aufgenommen sind, wird man in der Tabelle des folgenden Artikels finden.

## Gesetz für die specifische Wärme zusammengesetzter Körper.

Nach Neumann's Untersuchungen über die specifische Wärme zusammengesetzter Körper läßt sich für dieselben ein ähnliches Gesetz aufstellen, als das von Dulong und Petit für die einfachen Körper ist. Dies Gesetz ist folgendes:

Es verhalten sich bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen**) die specifischen Wärmen umgekehrt wie die stöchiometrischen Quantitäten***), oder was dasselbe ist, das Product aus der stöchiometrischen Quantität in die specifische Wärme ist bei chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen eine constante Quantität.

Der Verfasser hat dies Gesetz bei wasserfreien kohlensauren Salzen, schwefelsauren Salzen, Schwefelmetallen und Oxyden bewährt gefunden,

*) Pogg. XXIII. 1.

**) Unter chemisch ähnlich zusammengesetzten Stoffen sind Verbindungen verschiedener Radicale oder Basen mit denselben einfachen Stoffen (Sauerstoff, Schwefel rc.) oder denselben Säuren nach gleichen Atomverhältnissen verstanden. So bilden alle wasserfreien Oxyde, welche 1 Atom Sauerstoff gegen 1 Atom Metall enthalten, eine Reihe chemisch ähnlich zusammengesetzter Stoffe, ebenso alle Schwefelmetalle mit gleichen Atomen Schwefel, ebenso alle wasserfreien kohlensauren Salze von proportionaler Zusammensetzung rc.

***) Unter stöchiometrischen Quantitäten sind solche Gewichtsmengen verstanden, welche (im Fall von Oxyden oder Sauerstoffsalzen) gleiche Quantitäten Sauerstoff oder (im Fall von Schwefelverbindungen) gleiche Quantitäten Schwefel enthalten (entsprechend bei Chlor-, Jodverbindungen u. s. w.).

wie folgende Zusammenstellung der beobachteten und berechneten Werthe lehrt *).

Man wird bemerken, daß die specifische Wärme der Oxyde, welche 1 Atom Sauerstoff gegen 1 Atom Metall enthalten, sich zu der specifischen Wärme derjenigen, welche 3 Atome Sauerstoff gegen 2 Atome Metall enthalten, sehr nahe wie 2 : 5 verhält, und daß die specifische Wärme der kohlensauren Salze sich zu der der schwefelsauren Salze sehr nahe wie 7:8 verhält. Ob diese einfachen Verhältnisse zufällig sind, muß zur Zeit noch unentschieden bleiben.

*) Die im Ganzen nur geringen Differenzen beider finden zum Theil noch darin ihre Erklärung, daß die zur Beobachtung angewandten Stoffe nicht chemisch rein (die Oxyde und Schwefelmetalle z. B. käuflich) waren; auch die Resultate der Beobachtung mit einem von der innern Leitungsfähigkeit der Substanzen abhängigen geringen Fehler behaftet. —

Bemerken will ich, daß die auf der folgenden Seite angeführte Tabelle nicht genau mit der in der Originalabhandlung gegebenen übereinstimmt, was daher rührt, daß ich in der meinigen die vom Verfasser in seiner Nachschrift gegebenen abgeänderten Bestimmungen benutzt habe.

| Classe der Substanzen. | Namen der Substanzen. | Stöchiometrische Quantität. |
|---|---|---|
| Oxyde mit 1 Atom Sauerstoff gegen 1 Atom Metall. | Magnesia ...... | 2,58 |
| | Quecksilberoxyd .. | 13,66 |
| | Zinkoxyd ...... | 5,03 |
| | Kupferoxyd .... | 4,957 |
| | Kalk *) ....... | 3,56 |
| Oxyde mit 3 Atomen Sauerstoff gegen 2 Atome Metall. | Eisenoxyd ..... | 9,78 |
| | Mennig ....... | 28,89 |
| | Chromoxyd .... | 10,05 |
| Schwefelmetalle mit 1 Atom Schwefel gegen 1 Atom Metall. | Zinnober ...... | 14,66 |
| | Realgar ...... | 6,71 |
| | Bleiglanz ..... | 14,95 |
| | Blende ....... | 6,04 |
| Wasserleere schwefelsaure Salze. | Schwerspath .... | $\dot{Ba}\,\dddot{S} = 14{,}58$ |
| | Anhydrit ...... | $\dot{Ca}\,\dddot{S} = 8{,}57$ |
| | Cölestin ...... | $\dot{Sr}\,\dddot{S} = 11{,}48$ |
| | Bleivitriol ..... | $\dot{Pb}\,\dddot{S} = 18{,}95$ |
| Wasserleere kohlensaure Salze. | Witherit ...... | $\dot{Ba}\,\ddot{C} = 12{,}31$ |
| | Kalkspath ..... | $\dot{Ca}\,\ddot{C} = 6{,}32$ |
| | Bitterkalkspath .. | $\frac{\dot{Ca}\,\ddot{C} + \dot{Mg}\,\ddot{C}}{2} = 5{,}88$ |
| | Kohlens. Strontian | $\dot{Sr}\,\ddot{C} = 9{,}23$ |
| | Magnesitspath ... | $\frac{7\dot{Mg}\,\ddot{C} + \dot{Fe}\,\ddot{C}}{9} = 5{,}75$ |
| | Spatheisenstein .. | $\dot{Fe}\,\ddot{C} = 7{,}15$ |
| | Galmei ....... | $\dot{Z}\,\ddot{C} = 7{,}79$ |
| | Weißbleierz .... | $\dot{Pb}\,\ddot{C} = 16{,}71$ |

*) Die specifische Wärme des Kalkes ist nach Laplace und Lavoisier

| Beobachtete specifische Wärme. | Product A der specifischen Wärme in die stöchiometrische Quantität. | Nach dem Mittelwerthe von A berechnete specifische Wärme. | Differenzen der beobachteten und berechneten Werthe. |
|---|---|---|---|
| 0,276 | 0,712 | 0,270 | — 0,006 |
| 0,049 | 0,671 | 0,051 | — 0,002 |
| 0,132 | 0,664 | 0,138 | — 0,006 |
| 0,137 | 0,680 | 0,140 | — 0,003 |
| 0,217 | 0,772 | 1,96 | + 0,021 |
| | 0,679 | | |
| 0,164 | 1,604 | 0,182 | — 0,018 |
| 0,0616 | 1,779 | 0,0615 | + 0,000 |
| 0,196 | 1,963 | 0,177 | — 0,019 |
| | 1,782 | | |
| 0,0520 | 0,762 | 0,0510 | + 0,0010 |
| 0,1111 | 0,7455 | 0,1114 | — 0,0003 |
| 0,0530 | 0,791 | 0,0500 | + 0,0030 |
| 0,1145 | 0,6916 | 0,1237 | — 0,0092 |
| | 0,7475 | | |
| 0,1088 | 1,586 | 0,1087 | + 0,0001 |
| 0,1854 | 1,589 | 0,1849 | + 0,0005 |
| 0,1356 | 1,557 | 0,1380 | — 0,0024 |
| 0,0848 | 1,607 | 0,0836 | + 0,0012 |
| | 1,585 | | |
| 0,1078 | 1,327 | 0,1069 | + 0,0009 |
| 0,2046 | 1,293 | 0,2082 | — 0,0036 |
| 0,2161 | 1,271 | 0,2238 | — 0,0077 |
| 0,1445 | 1,334 | 0,1452 | — 0,0007 |
| 0,2270 | 1,305 | 0,2288 | — 0,0018 |
| 0,1819 | 1,300 | 0,1840 | — 0,0021 |
| 0,1712 | 1,335 | 0,1689 | + 0,0023 |
| 0,0814 | 1,360 | 0,0787 | + 0,0027 |
| | 1,316 | | |

angenommen.

## Specifische Wärme des Wassers.

Aus früheren Mischungsversuchen von De Luc, Flaugergues und Ure würde sich das Resultat ergeben, daß das heiße Wasser eine geringere specifische Wärme als das kalte hat *), indem sie die Temperatur der Mischung von kaltem und heißen Wasser niedriger als das arithmetische Mittel der Temperaturen vor der Mischung fanden. Begreiflich gehören Versuche über diesen Gegenstand theils wegen der Geringfügigkeit des zu schätzenden Unterschiedes, theils wegen der Correctionen, welche das Mischungsverfahren erfodert, um zuverlässige Resultate zu geben, zu den schwierigsten, und nur durch sehr genaue Berücksichtigung aller hiebei in Betracht kommenden Umstände wird man hoffen dürfen, ein zuverlässiges Resultat zu finden. In diesem Bezuge zeichnen sich die neuen Versuche von Neumann **) über diesen Gegenstand, welche nach der S. 473 beschriebenen Methode geführt worden sind, vor denen der früheren Beobachter vortheilhaft aus, und sein von ihm gefundenes Resultat, wiewohl es denen jener Beobachter widerspricht, scheint daher auch das meiste Zutrauen zu verdienen. Es ist folgendes:

Die specifische Wärme des heißen Wassers ist größer als die des kalten Wassers.

Das directe Resultat der Versuche, als Mittel mehrerer Beobachtungsreihen, gab als Verhältniß der specifischen Wärme des Wassers bei 80° R. zur specifischen Wärme des Wassers bei 22° R. folgendes: 1,0127 : 1.

Setzt man voraus, daß die Incremente der specifischen Wärme proportional der Temperatur sind, so kann man aus dem gefundenen Verhältnisse ableiten das Verhältniß des Wassers bei 80° R. zu Wasser bei 0° R. Das Resultat dieser Ableitung ist = 1,0176 : 1.

Vergleicht man dies Resultat mit den Größen, um welche die specifische Wärme bei einer Temperaturzunahme um 80° R. wächst bei den von Dulong und Petit untersuchten festen Körpern, so sieht man, daß diese Größe beim Wasser viel kleiner ist, indem sie etwa $\frac{1}{2}$ des kleinsten von diesen Beobachtern gefundenen Werthes und etwa $\frac{1}{3}$ des größten dieser Werthe beträgt.

## Über die specifische Wärme der Gasarten von Dulong ***).

De la Rive und Marcet †) haben bekanntlich aus ihren Versuchen das, auch schon früher von Haycraft aufgestellte, Resultat gezogen, daß

*) d. h. daß, um Wasser z. B. von 70° R. in der Temperatur um eine gewisse Anzahl Grade zu erhöhen, weniger Wärme erfoderlich ist, als um Wasser von 10° R. um dieselbe Zahl von Graden zu erhöhen.

**) Pogg. XXIII. 40.

***) Ann. de Ch. et de Ph. XLI. 113; oder Mém. de l'Acad. des sc. X. 1831. p. 147; oder Pogg. XVI. 438.

†) Pogg. X. [illegible]; XVI. 340.

alle einfache sowohl als zusammengesetzte Gase bei gleichem Volumen und gleicher Elasticität eine gleiche specifische Wärme besitzen.

Ihr Verfahren bestand im Wesentlichen darin, daß gleiche Volumina von verschiedenen Gasen eine gleiche Zeit hindurch (5 Minuten) in einem Glaskolben einer gleichen Wärmequelle ausgesetzt und aus der Zunahme der Elasticität eines jeden Gases die Temperatur hergeleitet wurde, die es nach Ablauf dieser Zeit erlangt hatte, indem bekanntlich eine Beziehung zwischen den so erlangten Temperaturen und der specifischen Wärme Statt findet. Da nun alle Gase (mit Ausnahme des Wasserstoffgases) in gleicher Zeit sich um gleich viel erwärmten, so schlossen die Verfasser daraus auf eine gleiche specifische Wärme derselben.

Dulong jedoch hat gegen dies Verfahren Einwürfe vorgebracht, nach welchen dasselbe in der That unzulässig und die mittelst desselben erhaltenen Resultate ungültig erscheinen müssen. Einerseits nämlich betrug, wie aus den Umständen der Versuche hervorgeht, im günstigsten Falle die Wärme, welche das Gas bei den Versuchen jener Verfasser aufnahm, nur etwa $\frac{1}{11}$ von der, welche der Ballon, um eine gleiche Temperaturerhöhung zu erfahren, aufnehmen mußte, da doch nach früheren Erörterungen und Versuchen von Dulong und Petit (Ann. de Ch. et de Ph. X. 400) es nöthig ist, wenn man ein sicheres Resultat aus der Vergleichung der Zeiten der Erwärmung in Bezug auf die Vergleichung der specifischen Wärmen hoffen will, daß die Wärmemenge, welche von dem, den Körper einschließenden, Gefäße verschluckt wird, kein zu großer Antheil von der Gesammtheit der beim Versuche aufgenommenen Wärme sei; andererseits aber hängen auch die Zeiten, welche verschiedene, in denselben Ballon gebrachte, Gasarten brauchen, um sich um eine gleiche Zahl von Graden zu erwärmen, keineswegs allein von der Wärmecapacität derselben ab, sondern vielmehr von der mehr oder weniger beträchtlichen Geschwindigkeit, mit der sich die inneren Theilchen des Gases mit den äußeren, welche allein die Wärme durch unmittelbare Mittheilung von den Wänden des Ballons erhalten, vermischen.

Dulong zeigt noch ferner, auf welche Weise die von Rive und Marcet gefundenen Resultate, daß die verschiedensten Gasarten unter gleichem Druck eine gleiche Zeit zur Erwärmung bedurften, und daß bei Verdünnung der Gase eine schnellere Erwärmung derselben Statt fand, aus den Umständen der Versuche erklärlich werden, ohne daß dabei etwas anderes als die Beweglichkeit der Gastheilchen in Rücksicht gezogen zu werden braucht, so daß die Beziehung dieser Umstände auf die Wärmecapacität der Gase hienach als unhaltbar erscheinen muß.

Dulong selbst hat auf einem andern Wege, welcher den Mängeln des vorigen Verfahrens nicht ausgesetzt ist, die specifische Wärme der Gase bei constantem Drucke und constantem Volumen von Neuem bestimmt, und ist dadurch zu dem Resultate gelangt, daß zwar die einfachen Gase oder Gemenge einfacher Gase, wie Sauerstoff, Wasserstoff, Luft sich hinsichtlich

ihrer specifischen Wärme bei constantem Drucke oder constantem Volumen gleich verhalten, nicht aber die zusammengesetzten, wie kohlensaures Gas, ölbildendes Gas, Stickstoffoxydgas (doch verhielt sich auch das Kohlenoxydgas mit der Luft merklich gleich). Ich werde im Folgenden 1) die Resultate von Dulong's Versuchen selbst anführen, mit einigen Erörterungen; 2) sein zur Ausmittelung angewandtes Verfahren mittheilen.

1) Tabelle über die specifische Wärme der Gase nach Dulong's Versuchen.

| Namen der Gase. | Dichtigkeit der Gase. | Spec. Wärme bei constantem Volumen, die der Luft = 1 gesetzt. | Spec. Wärme bei constantem Druck, die der Luft = 1 gesetzt. | Verhältniß der sp. Wärme bei const. Druck zur sp. Wärme bei const. Vol. | Temperaturerhöhung in C. durch eine Verdichtung v. $\frac{1}{267}$, das urspr. Vol. bei 0° und unter 0m,76 vorausgesetzt. | Spec. Wärme bei constantem Druck, nach den früheren Beobachtungen von de la Roche u. Berard. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Atmosphärische Luft . . | 1 | 1 | 1 | 1,421 | 0°,421 | 1, |
| Sauerstoffgas . . . . . | 1,1026 | 1 | 1 | 1,415 | 0 ,421 | 0,976 |
| Wasserstoffgas . . . . . | 0,0688 | 1 | 1 | 1,407 | 0 ,421 | 0,903 |
| Kohlensaures Gas . . . | 1,524 | 1,249 | 1,175 | 1,337 | 0 ,337 | 1,258 |
| Kohlenoxydgas . . . . . | 0,974 | 1 | 1 | 1,423 | 0 ,423 | 1,034 |
| Stickstoffoxydgas . . . . | 1,527 | 1,227 | 1,16 | 1,343 | 0 ,343 | 1,35 |
| Ölbildendes Gas . . . . | 0,981 | 1,754 | 1,531 | 1,240 | 0 ,240 | 1,553 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |

Erörterungen. Die Zahlen der fünften Columne, welche das Verhältniß der specifischen Wärmen bei constantem Drucke und constantem Volumen bezeichnen, sind diejenigen, zu denen die Beobachtungen direct geführt haben; die der dritten, vierten und sechsten sind erst nach den unten anzugebenden Betrachtungen aus ihnen abgeleitet. Wie man sieht ist beim Sauerstoffgase, Wasserstoffgase und der Luft, d. i. den einfachen Gasen so wie einem Gemenge aus einfachen Gasen jenes Verhältniß sehr nahe gleich gefunden worden, und man wird um so mehr zu schließen haben, daß die noch Statt findenden Differenzen auf bloßen Beobachtungsfehlern beruhen, da die directe Beobachtung bloß die Quadratwurzeln dieses Verhältnisses finden läßt, mithin die Zahlen der Tabelle durch eine Erhebung zum Quadrat, welche die Differenz vergrößern muß, entstanden sind. In der dritten, vierten und sechsten Spalte ist daher auch das Verhältniß der Gleichheit für die angezeigten drei Gasarten zu Grunde gelegt worden.

Die Zahlen der fünften Spalte sind sämmtlich größer als 1, was natürlich ist, weil man die specifische Wärme bei dem constanten Volumen zur Einheit angenommen hat, und weil die Wärmemenge, welche zu einer gleichen Temperaturerhöhung erfodert wird, bei einer Ausdehnung größer ist als bei ungeändertem Volumen. Wenn man also die Wärmemenge, die erfoderlich ist, um eine gewisse Gasmasse, deren Volumen unveränderlich bleibt, z. B. um einen Grad in ihrer Temperatur zu verändern, zur Einheit annimmt, so wird die Wärmemenge, welche nöthig ist, um dieselbe Masse, sobald sie sich unter ihrem anfänglichen Druck frei ausdehnen kann, um einen Grad zu erwärmen, 1,421 betragen, und das Volumen der Masse, wenn man von der Temperatur 0° ausgeht, um $0,00375 = \frac{1}{267}$ zunehmen. Man nehme nun an, daß die Masse, nachdem sie diese Temperatur- und Volumensänderung erlitten hat, plötzlich und ohne Wärme zu verlieren auf ihr früheres Volumen zurückgeführt werde; dann wird die Temperaturerhöhung, welche sich einstellt, gänzlich herrühren von der Wärmeportion, die der bloßen Volumensänderung entspricht, von der Wärmemenge, welche dieselbe Masse bei einer Ausdehnung von $\frac{1}{267}$, ohne Temperaturveränderung, absorbiren würde; und da die Wärmecapacität für das ursprüngliche Volumen zur Einheit genommen ist, so wird der Überschuß 0,421 der ersten Zahl über die Einheit das Maß des thermometrischen Effectes sein, welcher, in der Masse bei constantem Volumen, durch die bei einer Verdichtung von $\frac{1}{267}$ entwickelte Wärme hervorgebracht werden würde. Dieselbe Schlußfolge läßt sich auf alle übrigen elastischen Flüssigkeiten anwenden, und man kann so die Temperaturerhöhungen, die in allen diesen Körpern bei einer gleich großen Zusammendrückung erfolgen würden, mit einander vergleichen, wie in der sechsten Spalte geschehen ist.

Die Zahlen der dritten Columne sind nach folgender Betrachtung gefunden:

Unter Voraussetzung, daß die Ungleichheiten der Temperaturänderungen, die in allen Gasen durch eine plötzliche Dichtigkeitsänderung von glei-

cher Größe hervorgebracht werden, allein von einer Verschiedenheit ihrer Wärmecapacität abhängen, müssen die entsprechenden Temperaturänderungen sich umgekehrt wie die specifischen Wärmen bei constantem Volumen verhalten. Da z. B. die entsprechenden Temperaturänderungen, welche Luft und Kohlensäure erleiden, 0,421 und 0,337 sind (Spalte 6), so wird man das Verhältniß der specifischen Wärmen dieser beiden Gase bei constantem Volumen durch die Proportion

$$0{,}421 : 0{,}337 = x : 1$$

erhalten, welche giebt $x = 1{,}249$.

Die Zahlen der vierten Spalte ergeben sich nach derselben Voraussetzung, wenn man das Product aus den Zahlen der dritten und fünften Spalte (z. B. für Kohlensäure $1{,}249 \times 1{,}337 = 1{,}670$) mit 1,421 dividirt. Man sieht durch Vergleichung mit den Zahlen der siebenten Spalte, daß sie von denen, welche Berard und de La Roche durch directe Beobachtungen erhielten, sehr wenig abweichen.

Diese Übereinstimmung spricht dafür, daß die Voraussetzung, unter welcher die Zahlen berechnet wurden, richtig ist, daß mithin wirklich die Temperaturänderungen, welche erfolgen, wenn man bei gleicher Temperatur und unter gleichem Druck ein gleiches Volumen von verschiedenen Gasarten nimmt und plötzlich um einen gleichen Bruchwerth dieses Volumens zusammendrückt oder ausdehnt, sich wie die specifischen Wärmen dieser Gasarten bei constantem Volumen verhalten, wonach die absoluten Wärmemengen, welche hiebei entwickelt oder verschluckt werden, bei allen Gasarten gleich sein werden.

Verfahren von Dulong. Das Verfahren Dulong's, das Verhältniß zwischen der specifischen Wärme bei constantem Druck und constantem Volumen zu bestimmen, beruht auf Ausmittelung der Schallgeschwindigkeit in den verschiedenen Gasarten, indem zwischen dieser Geschwindigkeit und jenem Verhältniß folgende bekannte Beziehung obwaltet (nach Laplace):

$$k = \frac{v^2}{\frac{g\,h}{D}\,(1 + 0{,}00375\,.\,t)}$$

Hierin ist k das Verhältniß der beiden specifischen Wärmen, h der Barometerstand in Metern Quecksilberhöhe, g die Intensität der Schwere (= 9,82827 Meter für Paris), D die Dichtigkeit des Gases gegen die des Quecksilbers = 1, t die Temperatur in Centesimalgraden über 0°, v die beobachtete Schallgeschwindigkeit in Metern.

Dulong bestimmte nun zuvörderst den Werth von k für atmosphärische Luft, indem er als Mittel aus einer großen Zahl (von anderen Physikern angestellter) Beobachtungen 333 Meter als die Geschwindigkeit des Schalles bei 0° und 0,76 Meter Druck annahm. Hiedurch ergab sich

k = 1,421 *). Für andere Gasarten, als atmosphärische Luft, läßt sich die Schallgeschwindigkeit nicht wohl bestimmen; da aber zwischen der Geschwindigkeit des Schalles in einer Gasart und der Tonhöhe eines Blasinstrumentes, das mit der Gasart gefüllt ist, eine gewisse Beziehung Statt findet, so bot sich ein Mittel, die Schallgeschwindigkeit in den verschiedenen Gasen zu bestimmen, darin dar, daß man eine und dieselbe Röhre (eine gewöhnliche Labialpfeife) hinter einander erst mit Luft, dann mit verschiedenen anderen Gasen ansprechen ließ, und die Höhe des so gefundenen Tones bestimmte; es sind nämlich unter diesen Umständen die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles direct proportional den Schwingungsmengen, welchen die durch sie hervorgebrachten Töne entsprechen, so daß, wenn man die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft durch directe Beobachtung kennt, sie dann für die anderen Gasarten durch eine einfache Proportion herzuleiten ist.

Dulong zog dies Verfahren, die Schallgeschwindigkeit in den verschiedenen Gasarten zu bestimmen, dem vor, sie direct aus dem Abstande zwischen zwei Schwingungsknoten in der, mit verschiedenen Gasarten gefüllten Pfeife herzuleiten; denn ungeachtet, theoretisch genommen, zwischen der Größe dieses Abstandes bei einem gewissen Tone und der Schallgeschwindigkeit ebenfalls ein bekanntes Verhältniß Statt findet, so hat sich doch Dulong überzeugt (Th. I. S. 246), daß, unstreitig weil die Bedingungen, unter welchen Labialpfeifen in der Wirklichkeit tönen, den Voraussetzungen der Theorie, für welche letztes Verhältniß gültig ist, nicht genau entsprechen, man durch die Berechnung nach letzterm Verhältnisse stets eine etwas zu kleine Schallgeschwindigkeit finden würde.

Das Verfahren Dulong's konnte übrigens bloß unter der Voraussetzung für statthaft angesehen werden, daß die Beschaffenheit des Gases keine Veränderung in der Theilungsart einer Säule des Gases von gleicher Länge hervorbringt, und, wie schon Th. I. S. 247 angeführt, hat sich Dulong hievon durch eigends angestellte Versuche wirklich überzeugt.

### Theoretische Untersuchungen Schitko's **) über die gebundene Wärme.

#### Voraussetzungen.

1) Die Gesammtmenge der Wärme, die in einem Körper vorhanden ist, so wie die er noch dazu aufnimmt, läßt sich als aus zwei Theilen bestehend betrachten, einem Theile, welcher auf das Thermometer und Gefühl einwirkt und freie Wärme heißt (dieser bedingt seine Temperatur), und einem zweiten, welcher in einem solchen Zustande in den Körpern vorhanden ist, daß er diese Einwirkung nicht zu äußern vermag, und den wir gebundene Wärme nennen.

*) Diese Zahl weicht von der früheren, auf anderem Wege erhaltenen, Bestimmung durch Gay-Lussac und Walter, welche 1,348 fanden, ab.

**) Baumg. V. 138.

2) Wenn ein Körper einen Wärmezuwachs erfährt, so steht der aliquote Theil desselben, der gebunden wird, im quadratischen Verhältnisse des Temperaturzuwachses, welchen der Wärmezuwachs hervorbringt*), und hängt außerdem von der Beschaffenheit des Körpers ab, so daß bei einer Temperaturerhöhung um x Grade eine Wärmequantität $\gamma x^2$ latent wird, wenn man mit $\gamma$ die Wärme, die bei der Temperaturerhöhung um den ersten Grad gebunden wird, bezeichnet.

3) Ungleichartige Körper besitzen bei gleicher Masse eine specifische ungleiche Anziehung zum gesammten Wärmestoffe, die Schitko mit Bindungsvermögen bezeichnet und $\delta$ nennt.

Folgerungen.

Die vereinte oder gesammte Wärme q, d. h. die aus freier und gebundener zusammengesetzte, welche ein Körper bei der Temperaturerhöhung um x wahre Grade (vergl. S. 404) aufgenommen hat, wird für Einheit der Masse durch folgende Formel gegeben:

$$q = x + \gamma x^2 \qquad (1)$$

die unmittelbar aus Voraussetzung 2) fließt. Es wird sich hienach die fühlbare Wärme zur gesammten Wärme

$$\text{wie } x : x + \gamma x^2 \text{ oder wie } 1 : 1 + \gamma x$$

verhalten. Will man die Verhältnißgröße $1 + \gamma x$ die Temperaturscapacität nennen, so wird sie für eine jede gegebene Temperatur angeben, wie viel Mal mehr Wärme der Körper in sich aufgenommen hat, als das Thermometer wirklich anzeigt.

Nimmt man zugleich auf Masse m und Bindungsvermögen $\delta$ des Körpers Rücksicht, die in der vorigen Formel = 1 gesetzt worden, so wird

$$q = m\delta\,(1 + \gamma x)\,x \qquad (2)$$

Für einen andern Körper von der Masse M, dem Bindungsvermögen $\delta'$, und bei welchem $\gamma$ den Werth $\gamma'$ hat, wird die Gesammtquantität Wärme Q, die er aufzunehmen hat, um zur Temperatur X zu gelangen, sein:

$$Q = M\delta'\,(1 + \gamma' X)\,X,$$

mithin

$$q : Q = m\delta\,(1 + \gamma x)\,x : M\delta'\,(1 + \gamma' X)\,X \qquad (3)$$

*) Diese Supposition ist selbst an folgende geknüpft. Schitko stellt sich vor, daß die Wärme, die ein Körper aufnimmt, die aber das Thermometer nicht in gleichem Maße anzeigt, durch eine mit der Ausdehnung des Körpers wachsende Anziehung gegen die Körperelemente in ihrer freien Expansivkraft beschränkt werde. Insofern er nun den Grundsatz aufgestellt hat (S. 402), daß die Ausdehnung der Körper durch die Wärme wegen des wachsenden Widerstandes so zunehme, als wenn die Temperatur um einen aliquoten Theil im quadratischen Verhältnisse der Wärmegrade wachse, vermuthet er auch, daß die Körperelemente in demselben Verhältnisse, als sie der Expansivkraft der Wärme minder widerstehen und durch ihre Entfernung von einander sich gegenseitig weniger anziehen, gegen den Wärmestoff eine größere Anziehung ausüben und denselben in seiner freien Expansion mehr binden werden.

wird $m = M$, $x = X$ gesetzt, so hat man

$$q : Q = \delta (1 + \gamma x) : \delta' (1 + \gamma x) \qquad (4)$$

welches der Ausdruck für das Verhältniß der specifischen Wärme zweier Körper von gleicher Temperatur ist.

Bei gleichartigen Körpern endlich, wo $\delta = \delta'$ und $\gamma = \gamma'$, hat man

$$q : Q = m (1 + \gamma x)\, x : M (1 + \gamma X)\, X \qquad (5)$$

Zur Bestimmung der Werthe von $\delta$ und $\gamma$ kann man sich derjenigen Methode bedienen, nach welcher gleichartige oder ungleichartige Körper von verschiedener Temperatur gemengt werden und wobei die gemeinschaftliche Temperatur, welche die Körper nach der Mengung annehmen, beobachtet wird.

Es seien die Temperaturen zweier gleichartigen Massen M und m respectiv X und x vor der Vermengung und ihre gemeinschaftliche Temperatur nach der Vermengung z, so hat man*):

$$\gamma = \frac{(M + m)\, z - (MX + mx)}{MX^2 + mx^2 - (M + m)\, z^2}$$

oder

$$= \frac{m (z - x) - M (X - z)}{M (X^2 - z^2) - m (z^2 - x^2)} \qquad (6)$$

Ist $x = 0$, so hat man

$$\gamma = \frac{(M + m)\, z - MX}{MX^2 - (M + m)\, z^2}$$

oder

$$= \frac{mz - M (X - z)}{M (X^2 - z^2) - mz^2} \qquad (7)$$

Kennt man $\gamma$, so ergiebt sich z nach folgender Formel:

$$z = \frac{-1 + \sqrt{\dfrac{4\gamma\,[M (X + \gamma X^2) + m (x + \gamma x^2)]}{M + m} + 1}}{2\gamma} \qquad (8)$$

Ist $x = 0$, so hat man

$$z = \frac{-1 + \sqrt{\dfrac{4\gamma\, M (X + \gamma X^2)}{M + m} + 1}}{2\gamma} \qquad (9)$$

Schitko vergleicht die Resultate dieser Formeln mit Versuchen von de Luc und Flaugergues über Mischung von Wassermassen ungleicher Temperatur.

*) Herleitung. Die gesammte Quantität der Wärme vor der Mischung ist

$$M (X + \gamma X^2) + m (x + \gamma x^2),$$

und nach der Mischung

$$(M + m) (z + \gamma z^2).$$

Da aber die Wärmemengen vor und nach der Mischung einander gleich sein müssen, so ist

$$M (X + \gamma X^2) + m (x + \gamma x^2) = (M + m) (z + \gamma z^2)$$

welches zur obigen Bestimmung von $\gamma$ führt.

Man kann auch die Gesammtwärme, die ein Körper aufnimmt, unabhängig von Versuchen, nach folgender Formel bestimmen *):

$$q = \frac{\log (1 + \mu' y)}{\log (1 + \mu')} \quad (10)$$

worin $\mu'$ und y dieselbe Bedeutung als S. 404 haben und q die gesammte Wärme bedeutet.

Um die aufgenommene Gesammtwärme zu finden, sind sonach lediglich die für eine gleichförmige Ausdehnung bestimmte Größe $\mu'$ und die der Ausdehnung entsprechenden Grade y zu wissen erfoderlich. Da aber Thermometer, die aus verschiedenen Materien verfertigt sind, keine vollkommen übereinstimmenden Grade nach der gemeinen Scale anzeigen und nur bei dem Siedepuncte zusammentreffen, so ist es am einfachsten, wenn man die Gesammtwärme vorerst für den Siedepunct bestimmt. Will man das Volumen, welches ein gegebener Körper beim Siedepuncte annimmt, mit v bezeichnen, so ist die gesammte Wärme für diesen Temperaturpunct

$$= \frac{\log v}{\log (1 + \mu')} \quad (11)$$

und allgemein:

$$\gamma = \frac{\log v - x' \log (1 + \mu')}{x'^2 \log (1 + \mu')} \quad (12)$$

wo x' die wahren Wärmegrade des Siedepunctes bezeichnet.

Folgendes sind die Werthe von q und $\gamma$, die Schitko nach den bekannten Werthen von $\mu'$ und v für verschiedene Körper berechnet hat. q bedeutet hier die, in wahren Centesimalgraden W (vergl. S. 404) ausgedrückte Gesammtwärme, die jeder dieser Körper vom Frostpuncte bis zum Siedepuncte des Wassers aufnimmt.

*) Herleitung. Wenn der Widerstand, den die Körpertheile der ausdehnenden Kraft der Wärme entgegen setzen, bei allen Körpern und in allen Temperaturen derselbe bliebe, oder wenn vielmehr kein Widerstand Statt fände, so könnte auch die Anziehung zum Wärmestoffe mit der Ausdehnung nicht wachsen. Die gesammte Wärme, die der Körper zur Erlangung einer bestimmten Ausdehnung erfodert, müßte ganz als freie Wärme hervortreten. Unter dieser Voraussetzung müßte auf eine ähnliche Art wie bei den expansibeln Flüssigkeiten sein

$1 + \mu' y = (1 + \mu')^q$

welches zu obiger Formel führt.

| | q | $\gamma$ |
|---|---|---|
| Wasser . . . . . . | 97,8177 | 0,0027508 |
| Quecksilber . . . . | 99,1752 | 0,0029633 |
| Eisen . . . . . . . | 99,9350 | 0,0030794 |
| Kupfer . . . . . . | 99,9148 | 0,0030768 |
| Zink . . . . . . . | 99,8538 | 0,0030673 |
| Glas . . . . . . . | 99,9504 | 0,0030824 |
| Luft und Dampf . . . | 85,0801 | 0,0007675 |

Das bisher Angeführte bezieht sich bloß auf Körper einerlei Art, die auf verschiedene Temperaturen gebracht werden, wo $\delta = 1$ gesetzt werden kann.

Um, wenn man respectiv $\gamma$ und $\gamma'$ für zwei verschiedene Körper kennt, $\delta$ für den einen derselben zu bestimmen, während man $\delta'$ für den zweiten $= 1$ setzt, dient folgende Formel:

$$\delta = \frac{M\,[X + \gamma' X^2 - (z + \gamma' z^2)]}{m\,[z + \gamma z^2 - (x + \gamma x^2)]}$$

Hierin ist m die Masse des Körpers, für welchen $\delta$ gesucht wird, M die Masse desjenigen, für welchen $\delta' = 1$ gesetzt ist; $\gamma$ gehört dem Körper von der Masse m, $\gamma'$ dem von der Masse M zu; x und X sind die Temperaturen, die sie respectiv vor ihrer Vermischung hatten und z die gemeinschaftliche, die sie nach der Mischung besitzen *). Die Bestimmung von $\delta$ wird mithin hier ebenfalls durch Mischungsversuche erhalten **).

Will man sich des Eiscalorimeters bedienen, so führen folgende Formeln zur Bestimmung von $\delta$ und der specifischen Wärme.

*) Herleitung. Werden zwei ungleichartige Körper, deren Massen m, M und Temperaturen x, X sind, mit einander vermischt, und erlangt die Mischung die Temperatur z, so ist die Wärmemenge vor der Mischung

$$m\,\delta\,(x + \gamma x^2) + M\,\delta'\,(X + \gamma' X^2),$$

und nach der Mischung

$$m\,\delta\,(z + \gamma z^2) + M\,\delta'\,(z + \gamma' z^2);$$

da nun diese Werthe einander gleich sein müssen, so ist

$$\delta' : \delta = m\,[z + \gamma z^2 - (x + \gamma x^2)] : M\,[X + \gamma' X^2 - (z + \gamma' z^2)],$$

welches, $\delta' = 1$ gesetzt, zu obiger Formel führt.

**) Beispiel. Wird 1 Pfund Wasser von 100° C. (gemeine Grade) mit 1 Pfund Quecksilber von 0° gemengt, so wird die Mischung die Temperatur von 96,8° C. annehmen. Übersetzt man die angegebenen Temperaturen in die wahren Wärmegrade und substituirt in die Gleichung für $\delta$, wo $X = 80{,}1494$, $z = 78{,}0260$, $\gamma = 0{,}00296$ und $\gamma' = 0{,}00275$ zu setzen sind, so ergiebt sich $\delta = 0{,}03197$. Hienach findet man nach Formel (4) für die specifische Wärme des Quecksilbers für den Siedepunct

$$0{,}03197 \left(\frac{1 + 0{,}00296 \times 80{,}1494}{1 + 0{,}00275 \times 80{,}1494}\right) = 0{,}03240$$

Es seien p und P die Gewichte geschmolzenen Eises, die zwei ungleichartige Körper beim Erkalten um ungleichartige Temperaturen schmelzen, so ist

$$p : P = m\delta (x + \gamma x^2) : M\delta' (X + \gamma' X^2)$$

und

$$\delta : \delta' = \frac{p}{m (x + \gamma x^2)} : \frac{P}{M (X + \gamma' X^2)}$$

In einigen Tabellen (Baumg. VI. 153) giebt jetzt Schitko eine Übersicht über die freie, latente und gesammte Wärme, so wie die Wärmecapacität einiger Körper (Wasser, Quecksilber, Eisen, Glas) auf die angegebene Weise für verschiedene Temperaturen bestimmt. Ich begnüge mich, die Tabellen für Quecksilber und Glas mitzutheilen.

Die erste Spalte enthält die Wärmegrade nach der gemeinen hunderttheiligen Scale; in der zweiten sind diese Grade in die wahren Temperaturgrade W übersetzt; hienach sind sodann die gebundene und vereinte Wärme, dann die Temperaturcapacität, worunter Schitko die Verhältnißgröße $1 + \gamma x$ versteht, endlich die specifische Wärme oder Capacität nach den angegebenen Formeln berechnet.

Quecksilber.

$\gamma = 0{,}0029633$; $\delta = 0{,}03197$.

| Freie Wärme. | | Gebundene Wärme. | Gesammte Wärme. | Temperaturcapacität. | Specifische Capacität. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 C° | 0 W° | 0 | 0 | 1 | 0,0320 |
| 1 | 1 | 0,0030 | 1,0030 | 1,0030 | 0,0320 |
| 20 | 18,9489 | 1,0628 | 20,0117 | 1,0561 | 0,0321 |
| 40 | 36,0763 | 3,8524 | 39,9287 | 1,1068 | 0,0322 |
| 60 | 51,8113 | 7,9459 | 59,7572 | 1,1534 | 0,0323 |
| 80 | 66,4365 | 13,0649 | 79,5014 | 1,1966 | 0,0323 |
| 100 | 80,1494 | 19,0258 | 99,1752 | 1,2372 | 0,0324 |
| 200 | 139,0766 | 57,2532 | 196,3298 | 1,4117 | 0,0326 |
| 300 | 187,5636 | 104,1331 | 291,6967 | 1,5552 | 0,0328 |

Glas.

$\gamma = 0,0030824$; $\delta = 0,1740$.

| Freie Wärme. | | Gebundene Wärme. | Gesammte Wärme. | Temperatur-capacität. | Specifische Capacität. |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 C° | 0 W° | 0 | 0 | 1 | 0,1740 |
| 1 | 1 | 0,0031 | 1,0031 | 1,0031 | 0,1741 |
| 20 | 18,9489 | 1,1068 | 20,0557 | 1,0584 | 0,1750 |
| 40 | 36,0763 | 4,0117 | 40,0880 | 1,1112 | 0,1759 |
| 60 | 51,8113 | 8,2744 | 60,0857 | 1,1597 | 0,1766 |
| 80 | 66,4365 | 13,6051 | 80,0416 | 1,2048 | 0,1772 |
| 100 | 80,1494 | 19,8010 | 99,9504 | 1,2470 | 0,1778 |
| 200 | 139,0766 | 59,6207 | 198,6973 | 1,4287 | 0,1798 |
| 300 | 187,5636 | 108,4391 | 296,0027 | 1,5781 | 0,1811 |

Das bisher Angeführte gilt in so fern, als der Körper seinen Aggregatzustand beibehält; so wie er aber diesen verändert, nimmt er eine andere Menge Wärme auf, die das Thermometer nicht anzeigt, und die man nach Schitko die Wärme des Aggregationszustandes (gewöhnlicher latente Wärme) nennen kann. Diese ist dann zur gesammten Wärme hinzuzufügen, so daß, wenn die Gesammtwärme z. B. für das tropfbare Wasser von 100° C. durch

$$m\delta\,(X + \gamma X^2)$$

ausgedrückt wird, sie für den Dampf von 100° C. durch

$$m\delta\,(X + \gamma X^2) + m\lambda$$

ausgedrückt werden wird, wo $\lambda$ die latente Wärme bedeutet, die das siedende Wasser aufnehmen muß, um in Dampf überzugehen.

---

## VI. Physiologische Wärme.

Douville*) hat auf einer Reise, die er in eine noch nie von Europäern betretene Gegend Afrika's gemacht, Versuche über die Blutwärme von Negern angestellt, woraus er den Schluß zieht, daß bei jungen Negern das Blut wärmer ist, als bei alten, und bei diesen wärmer, als bei Weißen. Diese Versuche ergaben folgendes: Um 7 Uhr Morgens, ehe die Personen (die Reisegesellschaft?) ausgegangen waren und sich der Sonne ausgesetzt hatten, stieg das Thermometer des von der Hand umgebenen Réaumur'schen Thermometers

*) Froriep's Notizen Nr. 4. des XXXII. Bandes S. 57; oder J. de chim. méd. 1832. Févr. p. 97.

| | | | |
|---|---|---|---|
| bei einem | 12jährigen | Weißen auf | $29\frac{3}{12}$ |
| — — | 12jährigen | Neger auf | $31\frac{1}{12}$ |
| — — | 20jährigen | Weißen | 29 |
| — — | 20jährigen | Neger | 31 |
| — einer | 14jährigen | Weißen | $29\frac{8}{12}$ |
| — — | 14jährigen | Negerin | $32\frac{3}{12}$ |

Diese Tabelle zeigt sonach einen Wärmeunterschied von fast 2 Grad R. Douville führt noch etwa 25 andere Versuche*) an, welche dieselben Resultate gegeben haben.

Derselbe glaubt bei seinen Beobachtungen bemerkt zu haben, daß die Wärme mit den geistigen Fähigkeiten in einem umgekehrten Verhältniß steht. So fand er bei einem Versuche, welchen er im Monat Juli auf einer 2150 Meter über der Meeresfläche gelegenen Ebene anstellte, folgende Grade:

| | |
|---|---|
| bei einem dummen und faulen 18jährigen Neger | $29\frac{11}{12}$ |
| — — faulen 18jährigen Neger | $29\frac{8}{12}$ |
| — — verständigen (intelligent) 18jähr. N. | $29\frac{4}{12}$ |
| — — verständigen und rührigen Neger | $29\frac{2}{12}$ |

In freier Sonne und in Hütten, wohin die Sonne nicht dringt, erhielt er folgende Resultate:

| | |
|---|---|
| bei einem unthätigen und faulen Neger in seiner Hütte | $29\frac{8}{12}$ |
| in der Sonne | $32\frac{2}{12}$ |
| bei einem rührigen Neger in der Sonne arbeitend | $31\frac{10}{12}$ |

Zum Vergleich der Wärme zwischen Negern und Negerinnen wird folgende Tabelle mitgetheilt:

| | |
|---|---|
| Neger von 15 Jahren | $32\frac{8}{12}$ |
| Negerin von 15 — | $31\frac{2}{12}$ |
| Weißer von 20 — | $30\frac{3}{12}$ |
| Neger von 20 — | $31\frac{2}{12}$ |
| Negerin von 20 — | $31\frac{7}{12}$ |
| Neger von 25 — | $31\frac{1}{12}$ |
| Negerin von 25 — | $30\frac{11}{12}$ |
| Neger von Koanda von 54 Jahren | $30\frac{3}{12}$ |
| Weißer von 20 Jahren | $30\frac{3}{12}$ |

Es scheint hieraus hervorzugehen, daß bis zum 20sten Jahre die Wärme der Negerinnen größer als die der Neger ist; daß sie aber nach dieser Zeit geringer ist, aber noch größer als die der Weißen. Übrigens bedarf es keiner Erinnerung, daß eine so geringe Anzahl Beobachtungen keine sicheren Resultate begründen kann.

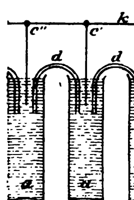
*) Die jedoch in Froriep's Notizen nicht enthalten sind.

## Berichtigungen.

Die zu diesem Bande gehörigen Berichtigungen werden zu Ende des dritten Bandes folgen.



Fig.3



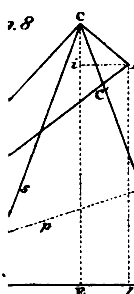




Fig.14

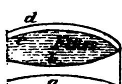



Fig.13

